

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of: Tatsuo KAWAGUCHI and Koji KIMURA

Filed: Concurrently Herewith

For: PIEZOELECTRIC ACTUATOR ARRAY AND MANUFACTURING
METHOD

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 addressed to Mail Stop Patent Application, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on August 5, 2003 under "EXPRESS MAIL" mailing label number EV 333283594 US.


Elizabeth A. VanAntwerp

SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:


The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified application and the priority provided in 35 USC 119 is hereby claimed:

<u>Country</u>	<u>Application Number</u>	<u>Filing Date</u>
Japan	2002-230101	August 7, 2002
Japan	2002-355633	December 6, 2002
Japan	2003-174077	June 18, 2003

In support of this claim, certified copies of the Japanese Applications are enclosed herewith.

August 6, 2003
Date

Respectfully submitted,


Stephen P. Burr
Reg. No. 32,970

SPB/eav

BURR & BROWN
P.O. Box 7068
Syracuse, NY 13261-7068

Customer No.: 025191
Telephone: (315) 233-8300
Facsimile: (315) 233-8320

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年 8月 7日
Date of Application:

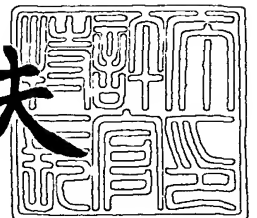
出願番号 特願2002-230101
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2002-230101]

出願人 日本碍子株式会社
Applicant(s):

2003年 7月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3059852

【書類名】 特許願

【整理番号】 WP04140

【提出日】 平成14年 8月 7日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01L 41/09
G02B 26/08

【発明の名称】 楕形圧電アクチュエータアレイ及び製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内
【氏名】 川口 竜生

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内
【氏名】 木村 浩二

【特許出願人】
【識別番号】 000004064
【氏名又は名称】 日本碍子株式会社

【代理人】
【識別番号】 100088616
【弁理士】
【氏名又は名称】 渡邊 一平

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 009689
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001231

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 櫛形圧電アクチュエータアレイ及び製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧電効果に基づき駆動するアクチュエータであって、

略柱体形状をなす複数の圧電素子が平面状に配列されてなり櫛形を呈する圧電基板と、前記圧電基板に沿設され前記圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板と、を備えることを特徴とする一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 2】 前記ガイド基板は、少なくとも一方の面に突部乃至突条部を有し、前記櫛形の圧電基板の櫛歯間に前記突部乃至突条部を挟入して前記圧電基板に沿設される請求項 1 に記載の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 3】 前記圧電基板の複数の圧電素子は、各々、圧電体と少なくとも一対の電極とを備え、前記圧電体に電圧を印加するため前記電極と接続される配線回路が、前記ガイド基板に形成されている請求項 1 又は 2 に記載の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 4】 請求項 1～3 の何れか一項に記載の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイが、複数、少なくとも圧電基板間にガイド基板が備わるように、積層されてなり、略柱体形状をなす圧電素子が立体的に整列配置される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 5】 圧電効果に基づき駆動するアクチュエータであって、

略柱体形状をなす複数の圧電素子を平面状に配列し櫛形に形成された複数の圧電基板が、少なくとも間に前記圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板を挟んで積層されてなり、

前記複数の圧電素子は、互いに独立して立体的に整列配置されることを特徴とする二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 6】 前記ガイド基板は、少なくとも一方の面に突部乃至突条部を有し、隣設する前記櫛形の圧電基板の櫛歯間に前記突部乃至突条部を挟入して前記圧電基板に沿設される請求項 5 に記載の二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 7】 前記複数の圧電基板の複数の圧電素子は、各々、圧電体と少なくとも一対の電極とを備え、前記圧電体に電圧を印加するため前記電極と接続され

る配線回路が、隣設されるガイド基板に形成されている請求項 5 又は 6 に記載の二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ。

【請求項 8】 略柱体形状をなす複数の圧電素子が平面状に配列され櫛形を呈する圧電基板と、前記圧電基板に沿設され前記圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板と、を備える一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法であって、

圧電材料を主成分とするセラミックグリーンシートを用意する第一の工程と、前記セラミックグリーンシートを焼成し圧電体シートを得る第二の工程と、前記圧電体シートの両面に電極を形成する第三の工程と、前記圧電体シートを加工し櫛形の圧電基板を得る第四の工程と、前記圧電基板の外形より僅かに大きな溝部を有するガイド基板を作製する第五の工程と、前記ガイド基板に前記圧電基板を挿嵌するとともに櫛形の圧電基板の櫛骨部分をガイド基板に固着する第六の工程と、

を有することを特徴とする一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法。

【請求項 9】 略柱体形状をなす複数の圧電素子を平面状に配列してなり櫛形に形成された複数の圧電基板が、少なくとも間に前記圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板を挟んで積層されてなる二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法であって、

圧電材料を主成分とする複数のセラミックグリーンシートを用意する工程 A と、前記複数のセラミックグリーンシートを焼成し複数の圧電体シートを得る工程 B と、前記複数の圧電体シートの各両面に電極を形成する工程 C と、前記複数の圧電体シートを加工し複数の櫛形の圧電基板を得る工程 D と、位置合わせ手段を有する複数のガイド基板を作製する工程 E と、各ガイド基板に各圧電基板を隣設させるとともに櫛形の各圧電基板の櫛骨部分を各ガイド基板に固着して複数の基板ユニットを得る工程 F と、前記ガイド基板に備わる位置合わせ手段により前記複数の基板ユニットを位置決めしつつ積層する工程 G と、

を有することを特徴とする二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法。

【請求項 10】 前記位置合わせ手段がスルーホール乃至マーカーである請求項 9 に記載の二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、逆圧電効果等の電界誘起歪みを利用する電気／機械エネルギー変換に基づいて変位を生じるアクチュエータアレイに関する。より詳細には、光スイッチ、光シャッター、ミラーアレイ等の光学系マイクロデバイスや、画像表示装置、高周波フィルタ、マイクロポンプ、液滴吐出装置等に好適に使用され、高い発生力と大きな変位を兼ね備えるとともに、変位を生じる圧電体が発生力と変位量の両立に優位な高アスペクト比なものであっても、ハンドリングが容易で位置決めが行い易い圧電アクチュエータアレイと、その製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、光学、精密機械、半導体製造等の分野において、サブミクロンのオーダーで光路長や位置を調整する変位制御デバイスが所望されるようになってきている。これに応え、強誘電体や反強誘電体に電界を加えたときに起こる逆圧電効果や電歪効果等に基づくところの歪みを利用したアクチュエータの開発が進められている。これら電界誘起歪みを利用する変位制御デバイスは、従来のサーボモータ等による電磁方式等に比較して、微小変位制御が容易であり、電気／機械エネルギー変換効率が高く省電力化が図れ、超精密に実装出来て製品の小型軽量化に寄与出来る、等の特徴を有し、応用分野は拡大の一途を辿るものと考えられている。

【0003】 例えば、光スイッチにおいては、入力光の伝達経路の切り替えを行うアクチュエータ部として圧電アクチュエータを用いることが提案されている。光スイッチの一例を図13（a）、図13（b）に示す。図13（a）、図13（b）に示される光スイッチ200は、光伝達部201と光路変更部208とアクチュエータ部211とからなる。詳細には、光伝達部201は、光路変更部208に対向する面の一部に設けられる光反射面101、及び、光反射面101を起点に3方向に向けて設けられる光伝達経路202、204、205を有し、又、光路変更部208は、光伝達部201の光反射面101に移動可能な状態で近接され、透光性の材質からなる光導入部材209、及び、光を全反射する光反

射部材 2 1 0 を有し、更には、アクチュエータ部 2 1 1 は、外部信号により変位し、変位を光路変更部 2 0 8 に伝達する機構を有する。

【0 0 0 4】 光スイッチ 2 0 0 は、図 1 3 (a) に示すように、電圧の印加等の外部信号によりアクチュエータ部 2 1 1 が作動し、アクチュエータ部 2 1 1 の変位により光路変更部 2 0 8 が光伝達部 2 0 1 から離隔され、光伝達部 2 0 1 の光伝達経路 2 0 2 に入力された光 2 2 1 が、屈折率を所定の値に調節してある光伝達部 2 0 1 の光反射面 1 0 1 において透過することなく全反射し、出力側の一の光伝達経路 2 0 4 に伝達される。

【0 0 0 5】 一方、この状態から、逆に、アクチュエータ部 2 1 1 を非作動状態とすると、図 1 3 (b) に示すように、アクチュエータ部 2 1 1 の変位が元に戻り、光路変更部 2 0 8 の光導入部材 2 0 9 が、光伝達部 2 0 1 に光の波長以下の距離で接触するため、光伝達経路 2 0 2 に入力された光 2 2 1 は、光導入部材 2 0 9 により光伝達部 2 0 1 から光導入部材 2 0 9 に取り出され、光導入部材 2 0 9 の中を透過する。この光導入部材 2 0 9 の中を透過した光 2 2 1 は、光反射部材 2 1 0 まで達するが、この光反射部材 2 1 0 の反射面 1 0 2 で反射されることにより、光伝達部 2 0 1 の光反射面 1 0 1 で反射した光とは異なる出力側の他の光伝達経路 2 0 5 に伝達される。

【0 0 0 6】 上記したような光スイッチにおいて、より高性能化を図るにあたっては、先ず、ON/OFF 比（コントラスト）を大きく取りたいという要望がある。ON/OFF 比（コントラスト）を大きくするためには、上記した光スイッチ 2 0 0 において、光路変更部 2 0 8 の光伝達部 2 0 1 との接触・離隔動作を確実に行うことが重要であり、アクチュエータ部は大きなストローク、即ち、大きく変位するものであることが好ましい。

【0 0 0 7】 又、より高性能化を図るにはスイッチングにかかる損失を小さくしたいという要望がある。この場合、光路変更部 2 0 8 の面積を大きくしつつ光伝達部 2 0 1 との実質的な接触面積を増やすことが重要である。そして、そのような接触面積の増加は、離隔にかかる確実性を低下させる要因となるので、アクチュエータ部には大きな力を発生出来るものが必要となる。

【0 0 0 8】 即ち、光スイッチの高性能化にあたっては、アクチュエータ部と

して、変位量と発生力とを両立出来る圧電アクチュエータが望まれているのである。加えて、光スイッチにおいては、今後、光電変換しない光ネットワークシステムの構築が進むに従い光交換器の回線数が増す一方で、光交換器は、より小型化が求められることから、光交換器の一構成要素としての光スイッチに、より高集積なものが要求されている。

【0009】 しかしながら、従来知られたユニモルフ乃至バイモルフ型（以下、これらを屈曲変位素子ともよぶ）の圧電素子を複数個配置した圧電アクチュエータでは、電界印加時の圧電素子自身の僅かな伸縮歪みを屈曲モードに変換して屈曲変位とするため、圧電素子の素子長に比例して大きな変位を得ることは容易であるものの、歪みの変換を行うため、圧電素子の直接の発生歪みにかかる発生応力を、そのまま利用することが出来ず、変位と同時に発生力を大きくすることは非常に困難なものである。

【0010】 又、屈曲変位素子は、板状の圧電体を変位方向に対して概ね垂直に配置する構成をとるため、自ずから素子寸法（幅乃至厚さ）は大きくならざるを得ず、従ってピッチも小さくし高密度に配置することは困難である。

【0011】 従来、圧電素子を高密度に配置する提案として、特許第3058143号の第1図に表されるアクチュエータがある。それはインクジェット方式記録装置に最適な圧電アクチュエータであり、駆動機構として機能する柱状の圧電素子が基盤目状に平面配置され高密度に配置出来る圧電アクチュエータとして開示されている。そして、その圧電アクチュエータは、インクジェット方式の記録装置における単位面積あたりのインク吐出ノズル数を高めることが出来る効果を有するとされている。

【0012】 しかしながら、開示された圧電アクチュエータは、予め共通電極乃至印加電極が塗布されたグリーンシートを積層して焼成した後に、柱状の圧電素子を分離独立させるためにダイシングソーにより溝を加工したものであることから、次に示す少なくとも2つの問題を抱えていた。

【0013】 先ず、電極が圧電素子内に予め収容された構造であることから、焼成時の歪みの影響を受け、分離独立された個々の圧電素子の電極-圧電体からなる層構造が不均一になり易く、素子間に特性のバラツキを引き起こすという問

題である。加えて、その焼成歪みを考慮すると、自ずから素子寸法（幅乃至厚さ）は大きくならざるを得ず、従ってピッチも小さくすることが困難である。開示された形態例によれば、圧電素子の幅が0.3 mm、溝の幅が0.209～0.718 mmであり、概ね1 mm²あたり1つの圧電素子が配置される密度であるが、これは、近時におけるインクジェットプリンタに求められる解像度に対応するには十分な集積度とはいえない。又、この集積度は、上記した図13（a）、図13（b）に示す態様を一例とする光スイッチにおいても満足出来るものではない。

【0014】 次いで、開示された圧電アクチュエータにおいて、分離独立した圧電素子はダイシングソー加工により形成されるが、加工上の制約により溝の深さ、即ち、圧電素子の高さは小さく制限されざるを得ないという問題である。発生変位が圧電素子の高さに依存する横効果型素子にとって、その高さに制限があれば、得られる変位も十分なものではない。即ち、開示された圧電アクチュエータは、高集積度と高特性の指標である圧電素子（圧電体）のアスペクト比（高さ／厚さ）を大きくすることは出来ないものであった。従って、インクジェットプリンタに限らず、光スイッチ等のアクチュエータ部としても好ましいものではない。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】 以上の説明の通り、発生変位と発生力とを両立し、尚且つ、独立して極高密度に配置可能である圧電アクチュエータが求められているが、従来、提案されていなかった。本発明は、このような要求に応えるべくなされたものである。即ち、本発明の目的とするところは、より低電圧で大変位が得られ、且つ、発生力が大きく、加えて、実装性に優れ、より高集積化が可能である圧電アクチュエータと、その製造方法を提供することにある。そして、その圧電アクチュエータを、光スイッチ、光シャッター、ミラーアレイ等の光学系マイクロデバイスや、画像表示装置、高周波フィルタ、マイクロポンプ、液滴吐出装置等に適用し、これらの性能向上を図ることにある。

【0016】 圧電アクチュエータについて、検討が重ねられた結果、以下に示す櫛形圧電アクチュエータアレイにより、上記目的が達成可能なことが見いださ

れた。

【0017】

【課題を解決するための手段】 本発明により提供される手段は、一次元乃至二次元の櫛形圧電アクチュエータアレイと、一次元乃至二次元の櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法である。

【0018】 先ず、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、圧電効果に基づき駆動するアクチュエータであって、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子が平面状に、即ち概ね一平面上に配列されてなり櫛形を呈する圧電基板と、その圧電基板に沿設され圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板と、を備えることを特徴とするアレイ状圧電アクチュエータである。

【0019】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイにおいては、ガイド基板は、少なくとも一方の面に突部乃至突条部を有し、櫛形の圧電基板の櫛歯間に突部乃至突条部を挟入して圧電基板に沿設されることが好ましい。

【0020】 尚、本明細書において、ガイド基板が圧電基板に沿設されるとは、ガイド基板が圧電基板の少なくとも一方の面と近接するか、あるいは接触している状態を指し、ガイド基板によって圧電基板の各圧電素子の配置が所定の範囲内に制限される状態を意味している。

【0021】 又、圧電基板の複数の圧電素子は、各々、圧電体と少なくとも一対の電極とを備えていて、圧電体に電圧を印加するため一対の電極と接続される配線回路は、ガイド基板とは別の基板（部品）に形成されていてもよいが、ガイド基板に形成されていることが好ましい。より構造が単純になり作製し易いことから、コスト低減が図れ歩留まりが向上するからである。

【0022】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、概ね柱体形状の圧電素子は、変位方向に概ね平行な軸線の真直度が概ね $30\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0023】 又、概ね柱体形状の圧電素子は、変位方向の長さとは変位方向と概ね垂直な断面において軸線を通る最短距離との比、即ちアスペクト比が、概ね $10:1 \sim 1000:1$ であることが好ましい。アスペクト比が $10:1$ より小さい場合には、上記一次元構造体であれば位置決めが容易に出来るためガイド基板

を用いる必要がない。一方、アスペクト比が1000:1より大きいと、圧電基板に備わる圧電素子そのものの強度が極めて低下し、ガイド基板を用いても強度を維持することが困難である。

【0024】 更に、概ね柱体形状の圧電素子の変位方向の長さと圧電素子と隣設される圧電素子との間隔との比が、概ね10:1～1000:1となるような高い密度で配置することが可能である。

【0025】 又、本発明によれば、上記の二次元櫛形圧電アクチュエータアレイが、複数、少なくとも圧電基板間にガイド基板が備わるように積層されてなり、概ね柱体形状をなす圧電素子が立体的に整列配置される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイが提供される。

【0026】 次に、本発明により提供される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、圧電効果に基づき駆動するアクチュエータであって、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子を平面状に配列し櫛形に形成された複数の圧電基板が、少なくとも間に圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板を挟んで積層されてなり、上記複数の圧電素子は、互いに独立して立体的に整列配置されることを特徴とするアレイ状圧電アクチュエータである。

【0027】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイにおいては、ガイド基板は、少なくとも一方の面に突部乃至突条部を有し、隣設する櫛形の圧電基板の櫛歯間に突部乃至突条部を挟入して圧電基板に沿設されることが好ましい。

【0028】 又、複数の圧電基板の複数の圧電素子は、各々、圧電体と少なくとも一対の電極とを備え、圧電体に電圧を印加するため一対の電極と接続される配線回路が、隣設されるガイド基板に形成されていることが好ましい。又、概ね柱体形状の圧電素子は、変位方向に概ね平行な軸線の真直度が、概ね30 μ m以下であることが好ましい。

【0029】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、概ね柱体形状の圧電素子が、変位方向の長さと変位方向と概ね垂直な断面において軸線を通る最短距離との比、即ちアスペクト比が、概ね10:1～1000:1であることが好ましい。アスペクト比が10:1より小さい場合には、上記二次元構造

体であれば位置決めが容易に出来るためガイド基板を用いる必要がない。一方、アスペクト比が1000:1より大きいと、圧電基板に備わる圧電素子そのものの強度が極めて低下し、ガイド基板を用いても強度を維持することが困難である。

【0030】 又、概ね柱体形状の圧電素子の変位方向の長さと、同一圧電基板で互いに隣設する圧電素子の間隔、乃至、異なる圧電基板で互いに隣設する圧電素子の間隔、との比が、概ね10:1～1000:1であることが好ましい。

【0031】 尚、本明細書においては、特に明示しない限り一次元であるか二次元であるかは、圧電素子が、平面状に、即ち一平面上に配列されているか、若しくは立体的に配設されているか、に従う。前者を一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ、後者を二次元櫛形圧電アクチュエータアレイとよぶ。又、特に明示しない限り二次元櫛形圧電アクチュエータアレイというときには、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを積層したものではなく、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイを指す。更に、特に明示しない限り櫛形圧電アクチュエータアレイというときには、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ及び本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの両者を指す。

【0032】 本明細書にいう真直度及び軸線は、日本工業規格B0621「幾何偏差の定義及び表示」に示されている。真直度とは直線形体の幾何学的に正しい直線からの狂いの大きさをいう。又、軸線とは、直線形体のうち円筒又は直方体であるように指定した対象物の各横断面における断面輪郭線の中心を結ぶ線をいう。本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイでは、概ね柱体形状であり、多くは細長の直方体を呈する圧電素子（圧電体）の軸線の真直度を極めて小さく維持出来る。このことは、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの圧電素子（圧電体）が、アスペクト比が大きい場合でも反りや曲がり等の変形がない幾何学的に正しい直方体に極近い形状であることを意味する。

【0033】 特に二次元アクチュエータアレイにおいては、圧電素子を、より高集積に配設する上でガイド基板の平面度が重要である。ガイド基板の平面度は、ガイド基板の厚さの1/5以下であることが望ましく、1/10以下であることが更に望ましい。又、ガイド基板の厚さは薄いほど望ましく、その強度は圧電

体の強度よりも大きいことが望ましい。

【0034】 続いて、製造方法について説明する。先ず、本発明によれば、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子が平面状に配列され櫛形を呈する圧電基板と、その圧電基板と沿設され圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板と、を備える一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法であって、圧電材料を主成分とするセラミックグリーンシートを用意する第一の工程と、セラミックグリーンシートを焼成し圧電体シートを得る第二の工程と、圧電体シートの両面に電極を形成する第三の工程と、圧電体シートを加工し櫛形の圧電基板を得る第四の工程と、圧電基板の外形より僅かに大きな溝部を有するガイド基板を作製する第五の工程と、ガイド基板に圧電基板を挿嵌するとともに櫛形の圧電基板の櫛骨部分をガイド基板に固着する第六の工程と、を有することを特徴とする一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法が提供される。

【0035】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法においては、上記第一の工程～第六の工程は、順序を限定するものではない。詳細は後述するが、適宜順序を入れ替えたり、同時に行ってもよい。工程の入れ替えが行われる場合には、それに伴って各工程に係る被処理体が変わることは、当然に理解されるべきである。

【0036】 次に、本発明によれば、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子を平面状に配列してなり櫛形に形成された複数の圧電基板が、少なくとも間に圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板を挟んで積層されてなる二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法であって、圧電材料を主成分とする複数のセラミックグリーンシートを用意する工程Aと、複数のセラミックグリーンシートを焼成し複数の圧電体シートを得る工程Bと、得られた複数の圧電体シートの各両面に電極を形成する工程Cと、電極を形成した複数の圧電体シートを加工し複数の櫛形の圧電基板を得る工程Dと、位置合わせ手段を有する複数のガイド基板を作製する工程Eと、各ガイド基板に各圧電基板を隣設させるとともに櫛形の各圧電基板の櫛骨部分を各ガイド基板に固着して複数の基板ユニットを得る工程Fと、ガイド基板に備わる位置合わせ手段により複数の基板ユニットを位置決めしつつ積層する工程Gと、を有することを特徴とする二次元櫛形圧電アクチュエータ

アレイの製造方法が提供される。

【0037】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法においては、ガイド基板に備わる位置合わせ手段としてスルーホール乃至マーカを採用することが出来る。スルーホールを用いた位置合わせ方法については後述する。マーカ（目印）による位置合わせ方法としては、例えば、ガラス等の透明材料からなるガイド基板を用い、その所定の位置に、例えば十字型のマーク等の位置決め用マーカを設置する方法が挙げられる。

【0038】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法においても、上記工程A～工程Gは、順序を限定するものではない。詳細は後述するが、適宜順序を入れ替えたり、同時に行ってもよい。工程の入れ替えが行われる場合には、それに伴って各工程に係る被処理体が変わることは、当然に理解されるべきである。

【0039】

【発明の実施の形態】 以下に、本発明の櫛形圧電アクチュエータアレイ及び製造方法について、実施の形態を説明するが、本発明は、これらに限定されて解釈されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、当業者の知識に基づいて、種々の変更、修正、改良を加え得るものである。

【0040】 本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイは、電界によって誘起される歪みを利用するアレイ状アクチュエータであって、狭義の意味での、印加電界に概ね比例した歪み量を発生する圧電効果を利用する圧電アクチュエータに限定されず、印加電界の二乗に概ね比例した歪み量を発生する電歪効果、強誘電体材料全般に見られる分極反転、反強誘電体材料に見られる反強誘電相－強誘電相間の相転移、等の現象を利用するアクチュエータも含まれる。分極処理が行われるか否かについても、圧電アクチュエータを構成する圧電素子の圧電体に用いられる材料の性質に基づいて適宜決定される。又、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイは、圧電効果のうち縦効果を用いる態様を否定するものではないが、以下の説明においては、高アスペクト比な構成に有利な横効果を用いることを前提としている。

【0041】 以下、図面を参酌しながら、先ず、一次元櫛形圧電アクチュエー

タアレイについて、その特徴を挙げて具体的に説明する。

【0042】 1) ハイブリッド構造

【0043】 図1(a)は、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの一実施形態を示す正面図であり、図1(b)は、図1(a)に示す一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの上面図であり、図1(c)は、図1(a)において現れない圧電基板の裏面のみを表す図であり、図1(d)は、櫛形の圧電基板の櫛歯部分のみを拡大して示す斜視図である。これら図で明示されるように一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ1は、概ね柱体形状をなす圧電体4と一对の電極18、19とからなる複数の圧電素子31が平面状に配列されてなり櫛形を呈する圧電基板3と、その圧電基板3に沿設され圧電基板3の保持乃至位置決めを行うガイド基板2と、を備えるハイブリッド構造をなすところに特徴を有し、電極18、19間に電圧をかけることで、圧電横効果により、圧電体4が、櫛歯26方向（櫛歯26先端と櫛骨27とを結ぶ方向）に伸縮変位を起こし駆動する圧電アクチュエータである（即ち、変位方向は櫛歯方向に等しい）。

【0044】 一般に、高い発生力と大きな変位を両立すべく、圧電素子を細長くし高アスペクト比に構成した場合において、圧電素子を構成する圧電体が例えば焼結したセラミックスであっても、機械的強度が低下し、ハンドリング性が悪くなり、主に圧電素子の自重によって反りや曲がり等の変形が生じることがあり得る。変形が生じた場合には、例えば高い発生力で大きな変位が得られたとしても、駆動させたときに意図する作用点からのズレが大きくなる等、アクチュエータとして満足な役目を果たせなくなるおそれが生じる。

【0045】 又、例えば圧電アクチュエータを各種マイクロデバイス等に適用するには、その製造にあたり、圧電素子の先端（作用点）を変位伝達を行う部材等のアライメントあるいは接続することが必要であるが、このような作業は非常に精密で難易度が高いことは明らかである。多数の圧電素子が整列した圧電アクチュエータアレイにおいては、アライメント作業時に他の部材等と干渉したり引っ掛かる等のトラブルが発生し易く、ガイド基板がない場合には、圧電素子に機械強度の限界を超えた衝撃が加わる等が生じ、破損し易い。

【0046】 一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ1は、圧電素子31を有す

る圧電基板 3 に加えて、その圧電基板 3 に沿設されたガイド基板 2 を備えるハイブリッド構造を有しているので、このような問題を回避することが出来る。例えば圧電素子 31 自体に変形が生じた場合でもガイド基板 2 が所定の範囲ガイド基板 2 自体が圧電素子 31 を保護する役割をするのに加え、囲内に変形を抑える役目を果たすからである。又、圧電素子 31 に想定外の外力が加わった場合にも、ガイド基板 2 が圧電素子 31 の変形を所定の範囲内に止めることにより、破損し難くするからである。更には、ガイド基板 2 によって圧電素子 31 が正確に位置決めされているため、変位伝達部材に圧電素子自体をアライメントしなくても接続することが可能となる等、ハンドリング性が極めて向上するからである。

【0047】 変形が生じた場合、圧電素子 31 はガイド基板 2 に接しながら変位を起こすことになるが、高アスペクト比な圧電素子 31 では、より高い発生力を有するのに加えて、ガイド基板 2 を圧電素子 31 の電極 19 と接触により生じる摩擦が小さくなるように、適した材料で作製するか、若しくは、表面処理乃至コーティングを施すことにより、変位量の低下を防ぐことが出来る。

【0048】 図 1 (a)、図 1 (b) に示されるように、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 では、ガイド基板 2 が圧電基板 3 の一方の主面に近接し且つ圧電基板 3 の端面を包み込むように設けられている。換言すれば、櫛形の圧電基板 3 がガイド基板 2 に僅かな隙間を確保しつつ挟入されている。この状態で、一の圧電素子 31 は、それを構成する圧電体 4 で圧電基板 3 の櫛骨 27 部分において他の圧電素子 31 を構成する圧電体 4 と一体化しており、且つ、電極 19 が形成された面でガイド基板 2 に近接し、その配置が所定の範囲内に制限されている。従って、圧電素子 31 は図示されるように高アスペクト比であるが、駆動時の作用点（櫛歯 26 の先端部分に相当）がズレたりバラツキを生じる可能性が極めて小さい。

【0049】 圧電基板とそれに沿設されたガイド基板との関係、即ち、沿設の態様は、ガイド基板が圧電基板の少なくとも一方の面と近接するか、あるいは接触し、ガイド基板が圧電基板の各圧電素子の配置を所定の範囲内に制限していればよく、図示される態様に限定されるものではない。一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 は、ガイド基板 2 を下側にして（横に寝かせて）実用に供される場

合には、重力が圧電基板をガイド基板に接触させるようにはたらくので、図示される限りの態様でも構わないが、立てた状態で使用される場合には、例えば、ガイド基板が圧電基板の両方の主面と近接するかあるいは接触する態様をとることが好ましい（図示しない）。後からガイド基板の一部として蓋板を取り付けたり、薄い中空部を有するガイド基板を作製してその中空部に圧電基板を挿入すること、等で実現出来る。尚、本明細書において、圧電基板（圧電素子、圧電体）の主面とは、電極が形成された面（圧電体においては電極が形成される面）を指す。

【0050】 又、図示しないが、圧電基板の圧電素子に沿設する部分でガイド基板が全て面状を呈していなくてもよい。圧電基板に備わる圧電素子のアスペクト比によっては、駆動時の作用点近傍（櫛歯先端）でのみ、ガイド基板が圧電基板（圧電素子）と近接するかあるいは接触していれば、圧電素子の位置決め精度を確保するという目的の1つを十分に達成し得るからである。勿論、櫛歯先端と、櫛歯の中間部分（櫛歯先端と櫛骨との間）に1箇所乃至数カ所において、点で（小さな面で、を意味する）ガイド基板が圧電基板（圧電素子）と近接するかあるいは接触している態様もとることも自由である。主にアスペクト比によって影響される圧電素子の機械的強度、あるいは、アクチュエータの使用態様（立てるか寝かせるか等）によって適宜決定すればよい。

【0051】 更に、ガイド基板の圧電基板と対向する面に突部乃至突条部を備え、その突部乃至突条部が圧電基板の複数の圧電素子間の空隙（即ち、櫛形の圧電基板の櫛歯間）に挟入されて圧電素子の（主面ではない）側面と近接するかあるいは接触する態様をとることも好ましい。圧電素子において主面間距離（図1（d）に示す圧電素子31の圧電体4におけるT、厚さともいう）と側面間距離（同じくW、幅ともいう）とに大きな差がない場合（圧電素子の櫛歯方向に垂直な断面が正方形に近い形状の場合）には、あるいは主面間距離が側面間距離に比べ極小さく薄い圧電素子でも両方の主面において変形が抑えられている場合には、圧電素子を高アスペクト比にした場合に主面間方向（図1（d）中のR方向）ではなく側面間方向（即ち隣設された圧電素子に向けた方向、図1（d）中のQ方向）に変形することもあり得るが、このような変形でも所定の範囲内に抑える

ことが出来るからである。

【0 0 5 2】 更に、図 1 (a) ~ 図 1 (d) に示す一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 は、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイに共通する以下の好ましい特徴を有している。

【0 0 5 3】 2) 相互独立圧電素子

【0 0 5 4】 一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 は、圧電基板 3 の複数の圧電素子 3 1 が、各々、圧電体 4 と一対の電極 1 8, 1 9 とを備え、複数の圧電素子 3 1 は平面状に配列されている。図示されるように、圧電基板 3 全体としては櫛形を呈するが、これは圧電体 4 の形状である。圧電基板 3 のガイド基板 2 と対向する面の概ね全面に共通の電極 1 9 が形成される一方、電極 1 8 は櫛形の個々の櫛歯 2 6 に対応して形成される。従って、電極 1 8 により電圧をかける圧電素子 3 1 を選ぶことが出来、個々の圧電素子 3 1 (一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 において圧電素子 3 1 は 8 本である) は、隣設される圧電素子に関係なく独立して駆動し得る。一を伸ばし一を縮ませるといった動作が可能であり、又、個々の圧電素子 3 1 によって電圧の大きさを変えることにより伸縮量を調節することも出来る。

【0 0 5 5】 又、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 においては、櫛骨部分に形成されるそれぞれ一対の電極が互いに対向する方向で重ならないようなパターンを採用すれば、変位を起こすのは圧電素子 3 1 部分のみであり、個々の圧電素子 3 1 は、櫛形の圧電基板 3 において櫛骨部分の圧電体 4 で他の圧電素子と一体化した構造であっても、隣設する他の圧電素子とは完全に独立していて、互いの変位を妨げることがない。従って、電極 1 8, 1 9 間にかかる電圧のロスがないとともに、複数の圧電素子を同時に個別に動作させても、一の圧電素子は他の圧電素子の動作と関係なく所定の変位を安定して得ることが可能である。

【0 0 5 6】 3) ガイド基板に配線回路形成

【0 0 5 7】 一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 は、図 1 (a)、図 1 (b) に示す如く、圧電体 4 の主面 (対向する距離の短い方の面) に、電極 1 8, 1 9 が形成されている。即ち、電極 1 8, 1 9 は、圧電素子 3 1 の圧電体 4 における櫛歯 2 6 方向に垂直な断面の形状が平行四辺形の一態様である長方形の長辺

を含む側面に形成されている。

【0058】 そして、圧電体 4 に電圧を印加するために、一对の電極 18, 19 と図示しない電源とを接続するための配線 22 及び電極端子 20, 21 からなる配線回路が、ガイド基板 2 に形成されている。当然ながら、配線 22 は導線でもよいが導電性材料をガイド基板 2 に直接塗布して形成しても構わない。このように駆動部である圧電素子 31 と離して電極端子 20, 21 を形成しておくことにより、後の電源接続作業が容易となり、製造工程に起因する歩留まり低下を防止し得る。

【0059】 配線回路に関し、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、図示される一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 の態様に限定されない。例えば、ガイド基板は圧電基板に沿設される部分のみで構成し、圧電素子の電極と電源とを接続するための配線回路は別途設ける配線基板に形成することも可能である。この場合、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、圧電基板、ガイド基板、配線基板の 3 つの基板で構成される。

【0060】 4) 高アスペクト比な圧電素子

【0061】 一般に、圧電アクチュエータを構成する個々の圧電素子は、

【0062】

【数 1】

$$X_B = \frac{L}{T} \times d_{31} \times V$$

【0063】 で表される数式に従う変位を発生し、一方、

【0064】

【数 2】

$$F_B = W \times \frac{d_{31}}{S_{11}^E} \times V$$

【0065】 で表される数式に従う応力 F_B を発生する。つまり、変位と発生力とは、別個に設計が可能なのである。ここで、 T は圧電体の厚さ、 L はその高

さ、Wは幅であり、

【0066】

【数3】

$$S_{11}^E$$

【0067】 は弾性コンプライアンスである。従って、これらの数式からわかるように、形状として、圧電体の厚さTを薄く、そして高さLを高くすることが、変位と発生力を両立する上で有利であるが、従来、そのようなアスペクト比（ L/T ）の大きい板状体の取扱いは非常に困難で、且つ、精度よく並べることは不可能であった。

【0068】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ1において、後述する製造方法により、複数の圧電素子31は、個々に取り扱われることなく、又、個々に並べられる必要もなく、容易に、平板の圧電体シートをスリット加工した櫛形の圧電基板3として一体的に形成される。又、ガイド基板2が圧電基板3に沿設され、個々の圧電素子31もガイド基板2によって保持乃至位置決めされる。従って、圧電素子31をアスペクト比が10～1000という高アスペクト比にすることが可能であり、低駆動電圧で、大きな変位並びに発生力が得られるように構成出来る。

【0069】 5）軸線の真直度に優れた圧電体

【0070】 一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ1は、ガイド構造と後述する製造方法によって、圧電素子31の圧電体4に係る軸線の真直度を極めて小さく維持出来る。即ち、細長の直方体を呈する圧電体4は幾何学的に正しい、変形のない直方体に極近い形状が維持出来る。従って、変位や発生力を意図する方向に意図する量で作用させることが容易であり、圧電素子31の特性を効率よく利用出来るという利点を有する。又、軸線の真直度が優れているために、駆動時において、作用点のズレが生じ難く、且つ、ある対象を押す、叩く等の作用から受ける反作用に対して、高い耐性を示し、高アスペクト比な細長い圧電素子であっても、折れ、割れ等の破損が生じ難い。

【0071】 6) 伸縮変位

【0072】 一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 は、従来の屈曲変位素子のように圧電体の伸縮する電界誘起歪みを屈曲モードの変位に変換して利用するものではなく、圧電体 4 の伸縮をそのまま変位として利用する（即ち、圧電体 4 の高さ L は変位を生じていないときの変位方向の長さに相当する）圧電アクチュエータなので、大変位を得るための設計値を、発生力並びに応答性を低下させることなく決定することが容易である。

【0073】 次に、二次元櫛形圧電アクチュエータアレイについて、図面を参照しながら、その特徴を挙げて具体的に説明する。

【0074】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、複数の圧電素子を配列した複数の圧電基板が、少なくとも間に圧電基板の保持乃至位置決めを行うガイド基板を挟んで積層されてなるものであり、積層された 1 組の圧電基板及びガイド基板は、上記した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイと同じ態様をとることが出来、その場合に本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、上記した 1) ～ 6) に準じた特徴を備えるものとなる。加えて、積層構造をとることによる以下の特徴を有する。

【0075】 7) 二次元整列配置圧電素子

【0076】 図 2 (a) は、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの一実施形態を示す斜視図であり、図 2 (b) は、図 2 (a) に示す二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの構成要素であるガイド基板の正面図であり、図 2 (c) は、圧電基板の正面図である。図 2 (a) で示されるように二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 は、複数の圧電素子 31 を配列した複数の圧電基板 3 が、それぞれの間にガイド基板 2 を挟んで積層されてなり、各圧電素子 31 は、互いに独立して立体的に整列配置されるところに特徴がある。

【0077】 複数の圧電基板 3 は、ガイド基板 2 により立体的に位置決めされ、各圧電基板 3 は相互にガイド基板 2 を挟んで独立しており、且つ、各圧電基板 3 は櫛骨 27 で一体化した圧電素子 31 が平面状に配列されていて、その平面内の圧電素子配列に関わる部位に接着剤等が介在しない構造である。従って、初期的な圧電素子寸法、圧電素子ピッチ等の精度が高いことは勿論のこと、介在物の

劣化という現象が生じ得ないので、長期間にわたって高い寸法精度、圧電素子特性が維持出来る。

【0078】 複数の圧電基板3をガイド基板2を挟んで積層したものであるもので、後述する製造方法から明らかなように立体的な加工工程なく作製出来る。従って、製造工程が簡素になり、コスト低減が図れる。

【0079】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの立体的な配列については、図示される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ80のような直交した配列に限らず、千鳥状、扇状、等、目的、用途によって自由に決定される。積層される圧電基板毎に、櫛形状を変えることのみによって圧電素子の数、配置を変えられるので、二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの立体的な配列の変更も容易である。

【0080】 又、積層される複数の圧電基板3及び複数のガイド基板2（図2（a）中、最下層の蓋板7を含む）の接合方法を、着脱容易な方法、例えばボルト&ナットでの締め付け等を採用することにより、必要に応じて圧電基板3の増設、削減が可能であり、設計の自由度が増す等の利点を有する。更に、一部の圧電素子が故障したときには、その故障対象を含む圧電基板を交換することで対応出来、メンテナンス性に優れる。

【0081】 個々の圧電基板3は、図2（a）、図2（c）で示されるように、上記した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ1と同様に、櫛歯26部分と櫛骨27部分からなる櫛形に形成され、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子31が平面状に配列されている（図2（a）では櫛歯26の先端が現れている）。圧電基板3全体としては櫛形を呈するが、これは圧電体の形状である。図2（c）で示されるように、櫛形の圧電体の一面（図2（a）中で圧電基板3として下側の面）に櫛形の個々の櫛歯26に対応して電極18が形成され、一方、櫛形の圧電体の他の面（圧電基板3としてガイド基板2と対向する面（図2（a）中で上側の面、図2（c）で現れない裏面）の概ね全面に共通の電極19が形成され、圧電基板3となる。即ち、圧電素子31は櫛歯26において形成され、圧電体の対向する二面に電極18、19を形成してなる。

【0082】 ガイド基板2は、圧電基板3の保持乃至位置決めを行うものであ

り、図 2 (b) に示されるように、圧電基板 3 の外形より僅かに大きな溝部 9 (僅かに凹んだ平面部) を有し、積層するにあたり圧電基板 3 はここへ挿嵌される。

【0083】 又、ガイド基板 2 には、圧電素子 31 を構成する圧電体に電圧を印加するために、挿嵌する圧電基板 3 における圧電素子 31 の一对の電極 18, 19 と図示しない電源とを接続する配線 22 及び電極端子 20, 21 からなる配線回路が形成される。そして、それらが図 2 (a) のように積層されると、個々の櫛歯 26 に対応して形成された電極 18 に接続される電極端子 20 は、同一の圧電基板 3 では独立を保ちつつ、異なる圧電基板 3 においてガイド基板 2 における位置毎に導通され共通電極となる。

【0084】 一方、上記したように、電極 19 は、櫛形の圧電体の電極 18 が形成される面とは反対側の面全体に形成され同一の圧電基板 3 では共通電極となりガイド基板 2 の電極端子 21 に接続されるが、電極端子 21 は、図 2 (a) に示すように、異なる圧電基板 3 毎には導通されず独立を保つ。

【0085】 従って、電極端子 20 (電極 18) 及び電極端子 21 (電極 19) の組合せにより、二次元に配列された圧電素子を有する二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 においても、上記 2) 相互独立圧電素子に記載した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 と同様に、電圧をかける圧電素子 31 を選ぶことが出来、圧電素子 31 は、個別に他の圧電素子に関係なく、独立して駆動し得る。

【0086】 尚、図 2 (a) に示される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 において、最下層には配線回路は不要であることから、ガイド基板 2 の代わりに、蓋板 7 を取り付けである。

【0087】 8) 高集積圧電素子

【0088】 二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 は、電極を圧電体 4 の外表面に膜状に形成した構造であり、後述する製造方法により、圧電素子 31 の圧電体 4 は極薄く形成され得る。

【0089】 又、二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 において積層されている 1 組の圧電基板 3 とガイド基板 2 とは、図 1 (a) ~ 図 1 (d) に示す一

次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 と同じ態様であり、1 枚の圧電基板 3 において、複数の圧電素子 3 1 は、圧電体 4 部分が圧電基板 3 の櫛骨で一体化していて、圧電素子 3 1 を個々に取り扱うことなく、個々に並べる必要もなく、形成され得ることから、同一の圧電基板 3 に配設され互いに隣設する圧電素子 3 1 の間隔は極狭くなっている。更に、上記 1) ハイブリッド構造の項で説明したガイド基板が圧電基板の圧電素子間の空隙に挟入されて圧電素子の側面と近接するかあるいは接触する態様をとる場合には、圧電素子の側面間方向の変形をも所定の範囲内に抑えることが出来ることから、同一の圧電基板 3 で互いに隣設する圧電素子 3 1 の間隔は、更に小さくつめることも可能である。

【0090】 加えて、二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 8 0 は、複数の圧電基板 3 の間にそれぞれ挟まれるガイド基板 2 も、後述する材料の採用により、極薄く作製し得ることから、ガイド基板 2 を挟んで積層される圧電基板 3 の間隔、即ち、異なる圧電基板 3 で互いに隣設する圧電素子 3 1 の間隔、は極小さくすることが出来る。

【0091】 即ち、圧電素子 3 1 自体が、極薄く小さく、且つ、互いに隣設する圧電素子 3 1 の間隔が極狭く形成される。従って、圧電素子 3 1 は従来になく高い集積度で配置され得る。又、4) 高アスペクト比な圧電素子の項で記した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 と同様に、高アスペクト比な圧電素子を高密度に配置することが出来る。具体的には、圧電素子 3 1 の配置密度は、圧電素子 3 1 の高さ L と、圧電素子 3 1 と何れ方向にも隣設する圧電素子 3 1 との間隔との比が、概ね $10:1 \sim 1000:1$ になるような配置密度である。この高い集積度を有する二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 8 0 は、光交換器用の光スイッチ等に用いられるアクチュエータとして好適である。

【0092】 引き続き本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの実施形態について、図面を参酌しながら、説明する。図 3 (a) は、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの他の実施形態を示す上面図である。図 3 (b) は、図 3 (a) における圧電素子部分の拡大図であり、図 3 (c) はガイド基板に圧電基板を挿嵌する様子を示す説明図である。

【0093】 図 3 (a) に示す二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 9 0 は、

突条部 8 を有するガイド基板 9 2 が用いられることを除いて、上記した二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 8 0 と同じものである。従って、上記した 1) ~ 1 0) の特徴を備えている。

【0094】 更に、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 の説明において 1) ハイブリッド構造の項で説明した如く、ガイド基板 9 2 の突条部 8 が、ガイド基板 9 2 の溝部 9 に挿嵌された圧電基板 3 の圧電素子 3 1 間の空隙に挟入され（図 3 (a) 及び図 3 (b) 参照）、圧電素子 3 1 の側面と近接するかあるいは接触する態様をとることにより、圧電素子 3 1 の主面間方向の変形に加え、側面間方向の変形も所定の範囲内に抑制可能としている。従って、櫛形圧電アクチュエータアレイ 9 0 は、同一の圧電基板 3 で互いに隣設する圧電素子 3 1 の間隔を、より狭くすることが出来、より高密度に圧電素子 3 1 を配設することが可能である。隣設する圧電素子 3 1 の間隔は、例えば 50 μ m 以下とすることが出来る。従って、今後開発される光交換器用の光スイッチ等に用いられるアクチュエータとしての適用が期待される。

【0095】 図 3 (c) (左側) に示されるように、ガイド基板 9 2 において突条部 8 は、圧電基板 3 の櫛歯 2 6 部分の長さに対応して設けられている。従って、図 3 (c) (右側) に示されるように、圧電基板 3 をガイド基板 9 2 に挿嵌した状態では、圧電素子 3 1 の側面全体が突条部 8 と連続して近接乃至接触しており、圧電素子 3 1 の側面間方向の僅かな変形も防止し得る。このような突条部は好ましい態様であるが、圧電素子 3 1 の機械的強度によっては、分断された突条部でもよく、小さな突部を間隔をあけて設けてもよい。

【0096】 次に、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例を掲げて、図面を参酌しながら説明する。

【0097】 図 6 (a)、図 6 (b) は、本発明の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイをマイクロミラーアレイのアクチュエータとして適用した例を示す図であり、図 6 (a) はマイクロミラーアレイ動作の様子を表す斜視図であり、図 6 (b) は図 6 (a) の部分拡大図である。マイクロミラーアレイ 6 5 は、マイクロミラー 6 6 とアクチュエータ部 6 1 とを備えてなり、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイをアクチュエータ部 6 1 として用いるマイクロミラーアレイであ

る。

【0098】 マイクロミラーアレイ65において、マイクロミラー66は、アクチュエータ部61の複数の圧電素子32と対をなすように一列に配置され、列軸64を中心軸として所定の範囲だけ回転可能なように設けられるとともに、圧電素子32とは反対側の面が鏡面で構成されている。

【0099】 アクチュエータ部61は、圧電素子32が外部信号により伸縮して、マイクロミラー66を押引し所定の範囲だけ回転させ、マイクロミラー66の傾斜角を調節することが出来る。この動作を通じて、マイクロミラーアレイ65は、圧電素子32とは反対側（図中左側）からの入射する光に対する反射角度を変えることが出来る。例えば、図6（b）に示す如く、マイクロミラー66を垂直に立てておけば入射光67が入った方向へ反射光68が戻り、マイクロミラー66を寝かせれば入射光67が入った方向とは別の方向へ反射光68が向かい、光路を変更させることが出来る。

【0100】 このようなマイクロミラーアレイでは、光の反射角度を変えるためにマイクロミラーを確実に位置決めすることが望ましく、圧電素子32に大きな伸縮力（発生力）が求められるが、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、その要求に十分に応え得る。従来のシリコンマイクロマシニングによる静電アクチュエータでは、駆動力が小さく、駆動するマイクロミラーの大きさや重量が制限されるため、マイクロミラーを薄くする必要性が生じ、その結果、マイクロミラーが反って反射ビームの品質が低下する等の問題を招来することがあるのに対して、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、発生出来る駆動力がはるかに大きいため、重量が大きな（剛性が高い）マイクロミラーを駆動することが出来、反射光の品質を劣化させることがない。

【0101】 尚、マイクロミラーアレイの動作様態としては、図6（a）、図6（b）に示したようにマイクロミラーを回転させて角度を変える方式の他、マイクロミラーと圧電素子とを固定して、それぞれのマイクロミラーを圧電素子の変位方向に並進運動させることも可能である。

【0102】 図7は、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを、付帯部品なくありのまま、光シャッターとして適用した例を示す図である。光シ

ャッター 74 は、圧電素子 33 をシャッターとして用い、圧電素子 33 を ON/OFF（伸ばすか縮ませるか）させて、一方向から入射する光を遮断したり通過させたりすることが出来る。図示されるように、圧電素子 33 が伸びたところでは入射光 77 は遮断され、圧電素子 33 が縮んだところでは入射光 77 は出射光 78 として通過する。

【0103】 このような光シャッターでは、光の遮断乃至通過を確実に行うために、圧電素子 33 の伸縮量（変位量）が大きいことが必要であるが、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、その要求に十分に答え得る。尚、常態を圧電素子 33 が伸びた（光を遮断する）状態にして、ON（電圧印加）で圧電素子 33 を縮ませる（光を通過させる）か、その反対に、常態を圧電素子 33 が縮んだ（光を通過する）状態にして、ON（電圧印加）で圧電素子 33 を伸ばす（光を遮断させる）か、は自由に構成することが出来、何れであってもよい。

【0104】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、先に図 13（a）、図 13（b）に示した光スイッチ 200 においても、図示されたアクチュエータ部 211 の代わりに、アクチュエータ部として採用することが出来る。

【0105】 図 13（a）、図 13（b）に示される光スイッチ 200 は、光伝達部 201 と光路変更部 208 とアクチュエータ部 211 とからなり、光伝達部 201 は、光路変更部 208 に対向する面の一部に設けられる光反射面 101、及び、光反射面 101 を起点に 3 方向に向けて設けられる光伝達経路 202、204、205 を有し、又、光路変更部 208 は、光伝達部 201 の光反射面 101 に移動可能な状態で近接され、透光性の材質からなる光導入部材 209、及び、光を全反射する光反射部材 210 を有し、更には、アクチュエータ部 211 は、外部信号により変位し、変位を光路変更部 208 に伝達する機構を有するものであり、アクチュエータ部 211 の作動により、光伝達部 201 の光反射面 101 に、光路変更部 208 を接触又は離隔させて、光伝達経路 202 に入力した光 221 を、光伝達部 201 の光反射面 101 で全反射させて出力側の特定の光伝達経路 204 に伝達させたり、光導入部材 209 に取り出し光反射部材 210

の光反射面 102 で全反射させて出力側の特定の光伝達経路 205 に伝達させたりすることが出来る。このような光スイッチ 200 において、屈曲変位を発するアクチュエータ部 211 に代えて、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイをアクチュエータ部に採用することにより、コントラストの高い、低損失な光スイッチにすることが可能である。

【0106】 続いて、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイをアクチュエータ部として適用した光スイッチの他の実施形態について説明する。

【0107】 図 8 に示される光スイッチ 290 は、2001 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会予稿集 P182 に公表されているものである。光スイッチ 290 は、光導波路部材 177 に光導波路コア部 177a ~ 177d が互いに交差するように形成され、且つ、その交差部分である光路変更部 298a ~ 298d に切込みが形成されてなる。

【0108】 光スイッチ 290 は、アクチュエータ部等の駆動機構の動作を用いて、その切込みを変形させることによって、光学的に不連続な部分を形成し、何れかの光導波路コア部 177a ~ 177d に入力された光の伝送経路を、光路変更部 298a ~ 298d において変え得るマトリクススイッチである。尚、図 8 においては、光導波路コア部 177a に入力された光 223 の伝送経路を、光路変更部 298b において、光導波路コア部 177b に変える様子を表している。

【0109】 光スイッチ 290 では、クロストークを小さくするために、光路変更部 298a ~ 298d の切込みを、より大きく開かせることが重要である。そのためには、アクチュエータ部（駆動機構）に大変位が要求される。

【0110】 又、光路変更部 298a ~ 298d が、光学的不連続状態と連続状態とを、良好に再現し得ることが重要である。そのためには、比較的、高ヤング率な材料を光導波路部材 177 の材料として適用し、光路変更部 298a ~ 298d の切込みの復元動作が有利に行われるようにすることが好ましい。従って、高ヤング率な材料を歪ませるためには、アクチュエータ部として、大きな発生力が要求される。

【0111】 更に、通常、光導波路コア部 177a ~ 177d は、高精度且つ

高集積なパターン形成が可能なフォトリソグラフィー法によって形成されるため、アクチュエータ部には、高い位置精度と高密度化が要求される。

【0112】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、圧電体の電界誘起歪みを直接利用するものであることから発生力が大きく、圧電素子を高アスペクト比にすることが容易であることから発生変位も大きく出来る。且つ、各圧電素子は、貼り付けにより形成されたものではなく、ガイド基板が圧電素子（圧電基板）を保持乃至位置決めしているので、圧電素子自体の寸法ズレ、傾きが小さく、駆動させたときの意図する作用点からのズレも小さい上、高密度な構成も容易に実現出来る。従って、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイは、光スイッチ290のアクチュエータ部として好適である。

【0113】 図9は、図8に示す光スイッチ290のCC断面を表し、光導波路コア部177aを有する光伝達部281と、圧電素子292を有するアクチュエータ部291と、を示す断面図である。アクチュエータ部291として、例えば図2(a)に示される二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ80が採用されており、光路変更部298a～298d（切込み）に対応して配設されている。

【0114】 図9に示される状態において、光スイッチ290は、光路変更部298aにおけるアクチュエータ部291の圧電素子292は非作動状態であり、光導波路コア部177aへの作用はない。従って、光路変更部298aの切込みは閉じ、光学的に光導波路コア部177aは連続な状態を維持している。このとき、導入された光223は、光路変更部298aを直進する。

【0115】 光路変更部298bにおけるアクチュエータ部291の圧電素子292は作動状態であり、変位並びに応力を光導波路コア部177aに作用させ、光路変更部298bの切込みを開いている。即ち、光路変更部298bにおいて光導波路コア部177aは光学的に不連続となり、導入された光223は、光路変更部298bで全反射し、光導波路コア部177bへ伝送される。

【0116】 アクチュエータ部（圧電素子）の作動状態若しくは非作動状態と、光導波路コア部への作用の有無とは、上記した場合とは逆であっても、勿論よい。即ち、アクチュエータ部の作動状態が作用なく（図9中で光路変更部298aの状態）、一方、非作動状態が作用有り（図9中で光路変更部298bの状態

) の場合であってもよい。又、光路変更部に作用を与える圧電素子の厚さ M (図 9 中に示す) は、光路変更部の切込みの開閉動作に支障がない範囲において、より小さい方が、圧電素子に要求される変位量も小さくなるため、好ましい。尚、光路変更部への作用の様態としては、圧電素子の先端を、直接、光路変更部に接触させてもよいが、例えば、圧電素子の先端に適当な部品を付加して、その部品を介して、光路変更部に作用させることも出来る。その場合、その部品の形態は圧電体の形状に制限されず、光路変更部の切込みの開閉動作が、最も効率よく行われるように設計すればよい。

【0117】 図 10 は、図 9 に示す例と概ね同じ態様の光スイッチであるが、ガイド基板 302 を光導波路支持部 294 として用いることにより、光路変更部 298a ~ 298d の切込みを開閉させるために必要な変位量を小さくすることが出来る。即ち、光伝達部 281 に光導波路固定部 276 を介して固定した (光導波路部材 177 に接合した) 光導波路支持部 294 を設けることにより、光路変更部 298a ~ 298d の切込みを開かせるための曲率半径が小さくなるため、アクチュエータ部 291 の圧電素子 292 の変位が小さくても、切込みを開かせることが可能となる。更に、この利点により、切込みの開閉動作に余裕が生じるため、スイッチングにかかる信号の漏洩、損失の低減が図られ、より好ましい。

【0118】 図 11 は、光導波路部材の両面 (上下) にアクチュエータ部を設けた例である。アクチュエータ部 291 に適用可能な二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの態様は、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイであればよく限定されないが、例えば、好ましくは二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 80 を用いることが出来る。このように光導波路部材 177 の上下にアクチュエータ部 291 を設けることにより、光路変更部の切込みの開閉精度を向上させることが出来るとともに、スイッチングにかかる応答速度を高めることが可能である。

【0119】 図 9 及び図 10 に示されるような光導波路部材の片面にのみアクチュエータ部を設けた場合には、光路変更部の切込みの開閉から閉口への状態変化は、光導波路部材に用いられる材料の弾性的復元力に従うため、光導波路部材

として柔らかい材料を用いた場合は、この復元（上記状態変化）に比較的長い時間を要してしまう。このことは、次のスイッチ動作に移るまでの時間に影響するため、復元は速ければ速いだけ好ましい。又、復元とは光学的に連続な状態に戻ることを意味しているが、材料劣化等で、特に、長期間動作させた場合に復元精度が低下し、信号の漏洩、損失増大を招くおそれがある。

【0120】 しかしながら、図11に示すように、光導波路部材の両面にアクチュエータ部を設けた場合には、光路変更部の切込みに対し、上下両方向に配設されたアクチュエータ部291の圧電素子292の作用によって、強制的に光路変更部の切込みを挟み込めば、このような問題は解決出来る。即ち、光導波路部材177を両面から押圧することにより、閉口精度が保てるとともに、アクチュエータ部291（圧電素子292）の応答速度で、開口から閉口への状態変化を実施出来る。従って、光導波路部材の両面にアクチュエータ部を設ける構成は、低損失、低漏洩で、高速なスイッチの実現に有利である。

【0121】 図12に示す光スイッチは、図11に示す例と概ね同様な光スイッチであるが、アクチュエータ部291と光導波路部材177との接合において、ガイド基板302と光導波路部材177との間に、より剛性の高い光導波路固定板286を介して接合したところにおいて異なる例である。本構造によれば、光導波路コア部の平坦性が向上し、アクチュエータ部291の圧電素子292上面（作用面）と光導波路部材177との間隔を、高精度に保つことが出来、スイッチ動作の精度を高めることが出来る。

【0122】 本発明の櫛形圧電アクチュエータアレイは、上記光学系の具体例に加え、その変位、振動に基づく作用を用いて、液体と液体、液体と固体、液体と気体との混合、攪拌及び反応、等を、極微小なエリアで、且つ、微量で行う種々の装置に利用することも出来る。又、外部からの応力を感知する圧力センサとしても利用出来る。

【0123】 次に、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法について説明する。先ず、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法について説明する。

【0124】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法は

、圧電材料を主成分とするセラミックグリーンシートを用意する第一の工程と、セラミックグリーンシートを焼成し圧電体シートを得る第二の工程（焼成工程）と、圧電体シートの両面に電極を形成する第三の工程（電極形成工程）と、圧電体シートを加工し櫛形の圧電基板を得る第四の工程（櫛形加工工程）と、圧電基板の外形より僅かに大きな溝部を有するガイド基板を作製する第五の工程と、ガイド基板に圧電基板を挿嵌するとともに櫛形の圧電基板の櫛骨部分をガイド基板に固着する第六の工程（挿嵌固着工程）と、を有する。

【0 1 2 5】 上記第一の工程～第六の工程に従い、そのままの順序で作製することは、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の好ましい態様であるが、順序は限定されるわけではない。適宜順序を入れ替えたり、同時に行うことが可能である。焼成、電極形成、櫛形加工の順ではなく、電極形成、焼成、櫛形加工でもよく、櫛形加工、焼成、電極形成でもよく、この三工程については全 6 通りの順序があり得る。又、櫛形加工の後に挿嵌固着するのではなく、挿嵌固着の後に櫛形加工を行うことも可能である。このように、工程の入れ替えが行われる場合には、それに伴って各工程に係る被処理体は、当然に変わることがある。例えば、挿嵌固着を最後に行う場合には、その挿嵌固着工程における挿嵌固着される対象（被処理体）は櫛形の圧電基板であるが、櫛形加工を最後に行う場合には、それ以前の挿嵌固着工程における挿嵌固着される対象は櫛形加工されていない圧電体シートであることは自明である。

【0 1 2 6】 上記製造方法により、櫛形に加工された圧電基板は、その櫛歯部分が概ね柱体形状をなす複数の圧電素子となり、その圧電素子はシート（平面）状に配設されたものとなる。尚、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法においては、圧電体シートを櫛形に加工する際には、種々の機械加工法を採用することが出来る。例えば、ダイシングソー加工、ワイヤーソー加工、金型を用いた打抜加工、レーザー加工法、イオンミリング加工法、エッチング法、ウォータージェット加工法、あるいは、超音波加工法、等である。

【0 1 2 7】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の概略工程の一例を、図 4（a）～図 4（e）に示す。以下、この一例により説明する。

【0128】 先ず、後述する圧電材料を主成分とするセラミックグリーンシート（以下、単にシートともいう）を用意する。セラミックグリーンシートは、従来知られたセラミックス製造方法により作製出来る。例えば、後述する圧電材料粉末を用意し、これにバインダ、溶剤、分散剤、可塑剤等を望む組成に調合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、ドクターブレード法、リバーシロールコーター法等のシート成形法によって、セラミックグリーンシートを形成することが出来る。

【0129】 図4（a）で、圧電基板3及びガイド基板2を作製する。圧電基板3は、上記第一～第四の工程に従い作製するが、図示されるように、圧電基板3の一方の面の電極18は、上記第三の工程により圧電体シート全面に形成された電極に対し溝加工等を施し、絶縁部17を形成して、櫛形の圧電基板の各櫛歯で独立した電極にすることが肝要である。尚、圧電基板3の他方の面の電極は、圧電体シート全面に形成されたままでよい。ガイド基板2は、上記第五の工程で示すように、圧電基板3を挿嵌するために、その外形より僅かに大きな溝部9を形成して作製するとともに、圧電基板3の各圧電素子と外部の電源との接続を行う電極端子20、21と配線22からなる配線回路を形成することが好ましい。

【0130】 圧電体シートへの電極形成の方法としては、スパッタリング、真空蒸着、CVD、メッキ、塗布、スプレー、スクリーン印刷等で行うことが出来る。

【0131】 次に、図4（b）に示すように、ガイド基板2の接着部13に接着剤を塗布する。接着部13はガイド基板2に圧電基板3を挿嵌したときに圧電基板3の櫛骨27（図4（a）参照）に対面する部位である。そして、図4（c）で、ガイド基板2に圧電基板3を挿嵌し、接着固定する。次いで、図4（d）で、少なくとも圧電素子31（櫛歯26部分）を覆うように蓋板107を取り付け、本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを得る。図示されるように、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイでは、蓋板107はガイド基板2全面を覆わなくてもよい。尚、図4（e）は、得られた一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの上面図である。又、圧電体シートは前述のグリーンシート法により準備することに加え、粉末プレス法、射出成型法、鋳込み成型法で得られた成形体

を焼成したものであってもよい。

【0132】 次に、二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法について説明する。

【0133】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法は、圧電材料を主成分とする複数のセラミックグリーンシートを用意する工程Aと、複数のセラミックグリーンシートを焼成し複数の圧電体シートを得る工程B（焼成工程）と、得られた複数の圧電体シートの各両面に電極を形成する工程C（電極形成工程）と、電極を形成した複数の圧電体シートを加工し複数の櫛形の圧電基板を得る工程D（櫛形加工工程）と、位置合わせ手段を有する複数のガイド基板を作製する工程Eと、各ガイド基板に各圧電基板を隣設させるとともに櫛形の各圧電基板の櫛骨部分を各ガイド基板に固着して複数の基板ユニットを得る工程F（隣設固着工程）と、ガイド基板に備わる位置合わせ手段により複数の基板ユニットを位置決めしつつ積層する工程Gとを有する。

【0134】 換言すれば、先に説明した本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法により、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを複数作製し、各一次元櫛形圧電アクチュエータアレイに位置合わせ手段を付与した基板ユニットを得て、位置決めしつつ積層する製造方法である。

【0135】 上記工程A～工程Gに従い、そのままの順序で作製することは、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の好ましい態様であるが、順序は限定されるわけではない。適宜順序を入れ替えたり、同時に行うことが可能である。焼成、電極形成、櫛形加工の三工程に関しては、上記した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法に準じ、全6通りの順序があり得る。又、一の基板ユニットを得るに際し、櫛形加工の後に隣設固着するのではなく、隣設固着の後に櫛形加工を行うことも可能である。このように、工程の入れ替えが行われる場合には、一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法と同様に、それに伴って各工程に係る被処理体は当然に変わることがある。

【0136】 上記製造方法により、櫛形に加工された圧電基板において、その櫛歯部分が概ね柱体形状をなす複数の圧電素子となり、複数の圧電基板がガイド基板を挟んで積層されることから、圧電素子は立体的に整列配置されたものとな

る。尚、本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法においては、位置合わせ手段は精度よく複数の基板ユニットを積層出来れば限定されるものではないが、例えば、各基板ユニットに設けたスルーホールを1つのガイドピンに通す方法や、マーカー（目印）により位置決めを行う方法が挙げられる。

【0137】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の概略工程の一例を、図5（a）～図5（c）に示す。以下、この一例により説明する。

【0138】 先ず、上記した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法により、所定数の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを得る。そして、図5（a）で、得られたそれぞれの一次元櫛形圧電アクチュエータアレイに、図示されるようなガイド孔51を開けて所定数の基板ユニット50を得る。

【0139】 次に、図5（b）に示すように、ガイド孔51より僅かに細い径のガイドピン11を立設した基台12を用意し、基板ユニット50のガイド孔51をガイドピン11に挿入して、全ての基板ユニット50を、順次、基台12上で積層し、図5（c）に示す二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ100を得る。尚、積層前に、基板ユニット50に接着剤を塗布して、積層と同時に接着固定することが出来る。又、接着剤を用いる方法の他、積層した一次元櫛形圧電アクチュエータアレイをボルト&ナットで締め付ける等、脱着容易な方法を採用することが出来る。

【0140】 ガイドピン11の外径は概ね0.1mm～1.0mmであることが望ましい。ガイド孔51の内径は、ガイドピン11の外径の概ね100.1%～110%であることが望ましい。100.1%よりも小さいとガイドピン11をガイド孔51に挿入することが實際上困難であり、110%よりも大きい場合には圧電素子31の位置決め精度が低下し、別のアライメント手段を併用する必要が生じるからである。ガイド孔51の形状は円形であることが望ましいが、四角形、三角形、十字形、等の適当な幾何学形状とすることも出来る。

【0141】 以上説明した本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法によれば、圧電素子の形状は、圧電体シートの加工形状で概ね決まり、櫛形の圧電体シートの櫛歯の長さを長くするだけで、高アスペクト比な形状の圧電素


子を、高い精度で形成することが可能であり、大変位の圧電素子を容易に得ることが出来る。又、圧電体シートの厚さは任意に選択出来るが、その厚さに応じ、圧電素子の機械強度、駆動電圧と変位の関係、あるいは応答速度等のアクチュエータ特性を必要に応じて調整することが出来る。又、加工断面は、ほぼ直線で構成され、櫛歯部分は高精度な柱体形状となり、その結果、圧電素子の圧電体の軸線の真直度を極めて小さく維持することが出来る。

【0142】 以上、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイ及び製造方法について、その実施形態について説明してきたが、上記態様に限定されるものではないことは既に述べた通りである。例えば、単板の圧電体（シート）の両面に電極を形成する実施態様の他、複数の圧電体（シート）を、それぞれの間に電極層を形成して積層あるいは接着した態様をとることも可能である。圧電体シート複数枚のトータル厚さを、単板で構成した場合と同等の厚さになるようにすれば、一対の電極と単板の圧電体シートによるアクチュエータ素子に比べ、機械強度を低下させることなく、より低い駆動電圧で同じ変位量を得ることが出来る。言い換えれば、変位量を犠牲にすることなく機械強度並びに発生力を増すことが出来る。更には、圧電縦効果を利用する圧電素子を配設した態様をとることが可能であり、この場合、圧電基板は、例えば変位方向に圧電体と電極とが交互に積層されたものとなる。

【0143】 続いて、以下に、本発明の櫛形圧電アクチュエータアレイに用いられる材料について説明する。

【0144】 先ず、駆動部である圧電体（シート）の材料、即ち、圧電材料について説明する。圧電材料としては、圧電効果若しくは電歪効果等の電界誘起歪みを起こす材料であれば、問われるものではない。結晶質でも非晶質でもよく、又、半導体セラミックスや強誘電体セラミックス、あるいは反強誘電体セラミックスを用いることも可能である。用途に応じて適宜選択し採用すればよい。又、分極処理が必要な材料であっても必要がない材料であってもよい。

【0145】 更には、セラミックスに限定されず、P V D F（ポリフッ化ビニリデン）等の高分子からなる圧電材料、又は、これら高分子とセラミックスの複合体であってもよい。但し、この場合は、高分子材料の耐熱性の点から、焼成し



て素子を形成するというものではなく、高分子材料の熱硬化程度の熱処理を施すことにより素子を形成する。

【0146】 圧電材料として材料強度面に優れるセラミックスを採用することにより、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイの特徴の1つである高アスペクト比な構成を、より有利に実施出来るとともに、発生変位並びに発生応力を効果的に作用させることが出来る。材料特性に優れるセラミックスは、高アスペクト比な構成と相まって、低電圧駆動で高特性な圧電素子とする上で好ましい。

【0147】 具体的なセラミックス材料としては、圧電セラミックス若しくは電歪セラミックスとして、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンズズ酸鉛、マンガンタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、チタン酸ビスマスネオジウム（BNT系）、ニオブ酸カリウムナトリウム、タンタル酸ストロンチウムビスマス等を単独、混合物あるいは固溶体として含有するセラミックスが挙げられる。

【0148】 これらのセラミックスは、圧電体を構成するセラミックス成分中に50重量%以上を占める主成分であることが好ましく、特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、焼成工程を経ても安定した材料組成のものが得られ易い点において、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT系）を主成分とする材料、マグネシウムニオブ酸鉛（PMN系）を主成分とする材料、ニッケルニオブ酸鉛（PNN系）を主成分とする材料、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛とマグネシウムニオブ酸鉛の混合物あるいは固溶体を主成分とする材料、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛とニッケルニオブ酸鉛の混合物あるいは固溶体を主成分とする材料若しくは、チタン酸ナトリウムビスマスを主成分とする材料が好適に用いられる。

【0149】 反強誘電体セラミックスとしては、ジルコン酸鉛を主成分とするセラミックス、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛の混合物あるいは固溶体からなる成分を主成分とするセラミックス、ジルコン酸鉛を主成分とし酸化ランタンを添加したセラミックス、又はジルコン酸鉛とスズ酸鉛の混合物あるいは固溶体を主成分とし、ニオブ酸鉛を添加したセラミックス等が挙げられる。

【0150】 尚、セラミックス結晶粒の平均粒径は、駆動部たる圧電体の機械

的強度を重視する設計においては、 $0.05 \sim 2 \mu\text{m}$ であることが好ましい。圧電体（シート）の機械的強度が高められるからである。圧電体の伸縮特性を重視する設計においては、結晶粒の平均粒径は、 $1 \sim 7 \mu\text{m}$ であることが好ましい。高い圧電特性を得られるからである。

【0151】 次に、電極の材料としては、常温で固体であれば特に規制されるものではなく、例えば金属単体であっても、合金であってもよく、又、酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、酸化チタン、酸化セリウム等の絶縁性セラミックスと金属単体、若しくはその合金との混合物であっても、何ら差し支えない。圧電体形成前に焼成する場合には、より好ましくは、白金、パラジウム、ロジウム等の高融点貴金属類、あるいは銀-パラジウム、銀-白金、白金-パラジウム等の合金を主成分とする電極材料、あるいは白金と基体材料や例えば圧電材料との混合物並びにそのサーメット材料が好適に用いられる。

【0152】 又、圧電体焼成後に電極形成する場合であれば、上記した電極材料に加え、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、金、鉛等の金属単体、あるいは、これらの合金も採用出来る。

【0153】 次に、ガイド基板は、材料を限定するものではないが、絶縁体であることが好ましい。隣設する圧電基板に電圧を印加するからである。又、圧電基板と対向する面の摩擦が小さい方が望ましい。隣設する圧電基板と接触しつつアクチュエータが駆動することもあり得るからである。ガイド基板を構成する具体的な材料としては、セラミックス、ガラス、樹脂、シリコン等が挙げられる。又、使用材料に関わらず、摩擦を低減するためのコーティング乃至表面処理等を施すことも好ましい。更には、圧電基板とガイド基板の間あるいは櫛歯間の空間には、絶縁オイルあるいは樹脂等を充填し、更なる摩擦低減や電極間の絶縁性の向上等を施すことも望ましい。

【0154】

【実施例】 以下に、本発明を実施例に基づき説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0155】 （圧電基板の作製）

【0156】 ジルコン酸チタン酸鉛系セラミックスと有機バインダからなるセラミックグリーンシートをドクターブレード法を用いて作製した。セラミックグリーンシートの厚さは約 $200\mu\text{m}$ とした。このセラミックグリーンシートを約 1300°C で焼成して平板状の圧電体シートを作製した。次に、この圧電体シートの両面全面に膜状の電極を形成した。電極の形成は金ペーストをスクリーン印刷した後、約 600°C で焼成することによって形成した。次に、この圧電体シートをダイシングソー及びワイヤソー等を用いた機械加工によって所望の櫛形形状に加工した。櫛形形状としては、例えば、櫛歯のピッチ $500\mu\text{m}$ 、櫛幅 $400\mu\text{m}$ 、櫛長さ 15mm とした。次に、一方の面の各櫛歯間を溝入れ加工することにより、各櫛歯の電極を個別に独立させて、圧電基板を得た。これによって、一方の面には圧電素子毎に個別電極が形成され、他方の面には全ての圧電素子に共通電極が形成された圧電基板が作製された。

【0157】 尚、各櫛歯に個別電極を形成する方法としては、一様電極を形成した圧電シートに溝入れ加工して形成する上記方法の他、予め各櫛歯部に相当する電極パターンを印刷等により形成しておいてもよい。

【0158】 (ガイド基板の作製)

【0159】 圧電基板の各圧電素子に対して個別電極及び共通電極との接続が可能で、且つ、圧電基板を保持乃至位置決めするためのガイド基板を作製した。配線回路を形成したガイド基板に、スライシング等の機械加工により圧電基板を挿嵌出来るように溝加工を行った。ガイド基板を作製する方法としては、例えばセラミックス材料からなるグリーンシートを所定の形状に打抜加工したものを積層して作製することが出来る。

【0160】 (圧電基板の接着、固定)

【0161】 圧電基板をガイド基板の溝部にはめ込んだ状態で、圧電基板の櫛骨部分をガイド基板に接着、固定する。これにより圧電素子の一端が固定され、他端がフリーである一次元櫛形圧電アクチュエータアレイとなる。ガイド基板の各電極端子と圧電基板の個別電極及び共通電極との接続は、例えば半田付けやワイヤーボンディング等によって行うことが出来る。圧電基板の個別電極と共通電極とを同一の面から取り出すには、例えば圧電基板の両端側面に導電性材料を塗

布して圧電基板の個別電極側の面であって駆動しない部分と共通電極側を短絡し、個別電極側から共通電極を取り出せばよい。圧電基板をガイド基板に接着固定する方法としては、樹脂系、セラミックス系、ガラス系等の各種接着剤を用いる方法の他、溶接、圧着、ネジ止め、ディフュージョンボンディング等によって行うことも出来る。

【0162】 (アクチュエータの動作確認)

【0163】 先ず、各圧電素子の電極間にDC300V程度の電圧を印加して圧電体の分極処理を行った。その後、0-200V、1kHzの正弦波電圧印加の測定条件において、圧電素子の変位量を測定した。その結果、各圧電素子とも変位量10.5 μ m以上で動作することが確認された。

【0164】 (二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの作製)

【0165】 16本の圧電素子を有する一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを16枚用意し、それぞれのガイド基板に設けたガイド孔にガイドピンを通して位置合わせし、重ね合わせて接着することにより、マトリックス状の二次元櫛形圧電アクチュエータアレイを得た。全256本(16 \times 16)の圧電素子について、上記と同様の動作確認を行ったところ、同様の結果が得られた。

【0166】

【発明の効果】 以上、詳述したように、本発明によれば、従来の課題が解決され、より低電圧で大変位が得られ、且つ、発生力が大きく、又、従来にない高アスペクト比な圧電素子を有するとともに圧電素子の高集積化が可能である櫛形圧電アクチュエータアレイ、並びに、その製造方法が提供される。

【0167】 そして、本発明に係る櫛形圧電アクチュエータアレイは、光スイッチ、光シャッター、ミラーアレイ等の光学系マイクロデバイスや、画像表示装置、高周波フィルタ、マイクロポンプ、液滴吐出装置等に好ましく適用することが可能である。又、圧電効果に基づくという観点から、本発明のアクチュエータアレイを加速度センサ、圧力センサ等の各種センサとして利用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの一実施形態を示

す図であり、図 1 (a) は正面図、図 1 (b) は上面図、図 1 (c) は一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを構成する圧電基板の裏面図、図 1 (d) は一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを構成する櫛形の圧電基板の櫛歯部分を拡大して示す斜視図である。

【図 2】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの一実施形態を示す図であり、図 2 (a) は斜視図、図 2 (b) は二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの構成要素であるガイド基板の正面図、図 2 (c) は二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの構成要素である圧電基板の正面図である。

【図 3】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの他の実施形態を示す図であり、図 3 (a) は上面図、図 3 (b) は図 3 (a) における圧電素子部分の拡大図、図 3 (c) はガイド基板に圧電基板を挿嵌する様子を示す説明図である。

【図 4】 図 4 (a) ～図 4 (e) は本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の一例を示す説明図である。

【図 5】 図 5 (a) ～図 5 (c) は本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの製造方法の一例を示す説明図である。

【図 6】 本発明の一次元櫛形圧電アクチュエータアレイをマイクロミラーアレイのアクチュエータとして適用した例を示す図であり、図 6 (a) はマイクロミラーアレイの動作の様子を模式的に表す斜視図であり、図 6 (b) は図 6 (a) の部分拡大図である。

【図 7】 本発明に係る一次元櫛形圧電アクチュエータアレイを光シャッターとして適用した例を示す図であり、光シャッターの動作の様子を模式的に表す斜視図である。

【図 8】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例である光スイッチの一実施形態を示す斜視図である。

【図 9】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例である光スイッチの一実施形態を示す断面図であり、図 8 の C C 断面を表す図である。

【図 10】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例である光スイッチの他の実施形態を示す断面図である。

【図 1 1】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例である光スイッチの更に他の実施形態を示す断面図である。

【図 1 2】 本発明に係る二次元櫛形圧電アクチュエータアレイの適用例である光スイッチの更に他の実施形態を示す断面図である。

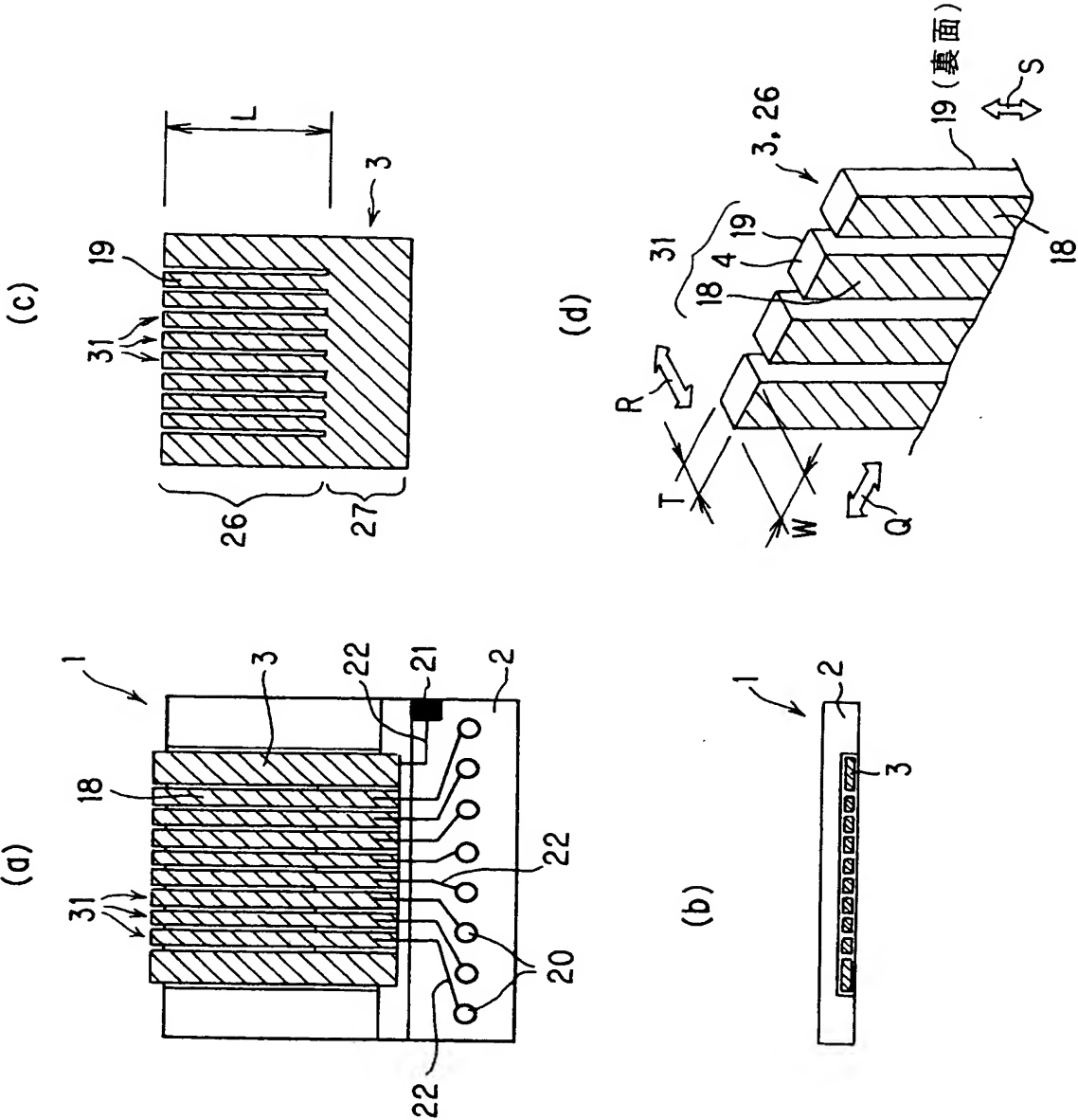
【図 1 3】 従来の圧電アクチュエータの適用例を示す垂直断面図であり、図 1 3 (a) は適用例である光スイッチにおいてアクチュエータ部作動状態を表し、図 1 3 (b) は適用例である光スイッチにおいてアクチュエータ部非作動状態を表す。

【符号の説明】

1…一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ、2…ガイド基板、3…圧電基板、4…圧電／電歪体、7…蓋板、8…突条部、9…溝部、11…ガイドピン、12…基台、13…接着部、17…絶縁部、18, 19…電極、20, 21…電極端子、22…配線、26…櫛歯、27…櫛骨、31, 32, 33…圧電素子、50…基板ユニット、51…ガイド孔、61…アクチュエータ部、64…列軸、65…マイクロミラーアレイ、66…マイクロミラー、67…入射光、68…反射光、74…光シャッター、77…入射光、78…反射光、80, 90, 100…二次元櫛形圧電アクチュエータアレイ、92…ガイド基板、101…光反射面、102…反射面、107…蓋板、177…光導波路部材、177a～177d…光導波路コア部、200…光スイッチ、201…光伝達部、202, 204, 205…光伝達経路、208…光路変更部、209…光導入部材、210…光反射部材、211…アクチュエータ部、218…振動板、221, 223…光、276…光導波路固定部、281…光伝達部、286…光導波路固定板、290…光スイッチ、291…アクチュエータ部、292…圧電素子、294…光導波路支持部、298a～298d…光路変更部、302…ガイド基板、S…変位方向、R…主面間方向、Q…側面間方向。

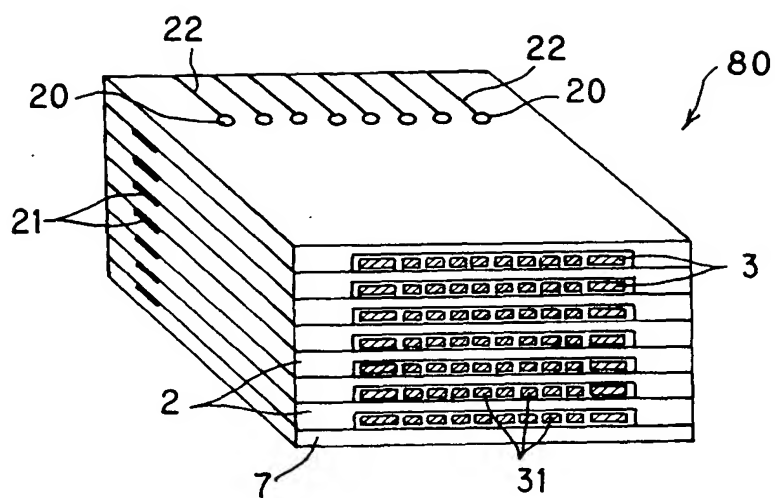
【書類名】 図面

【図 1】

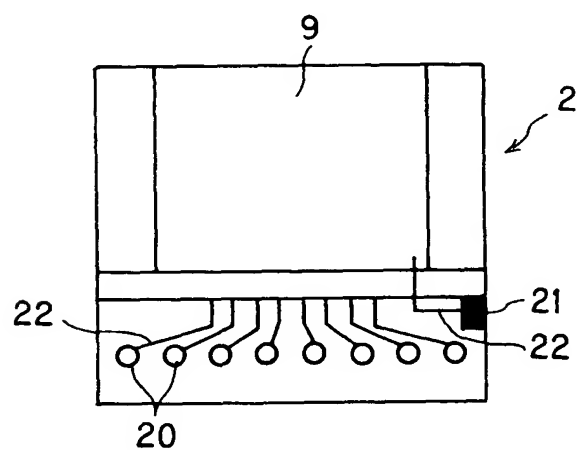


【図 2】

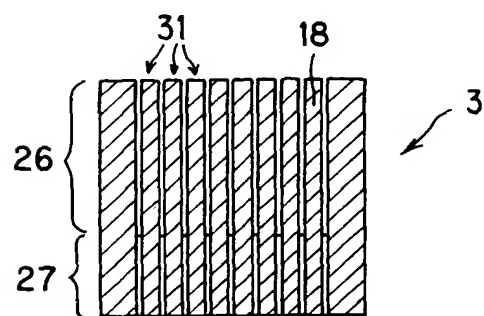
(a)



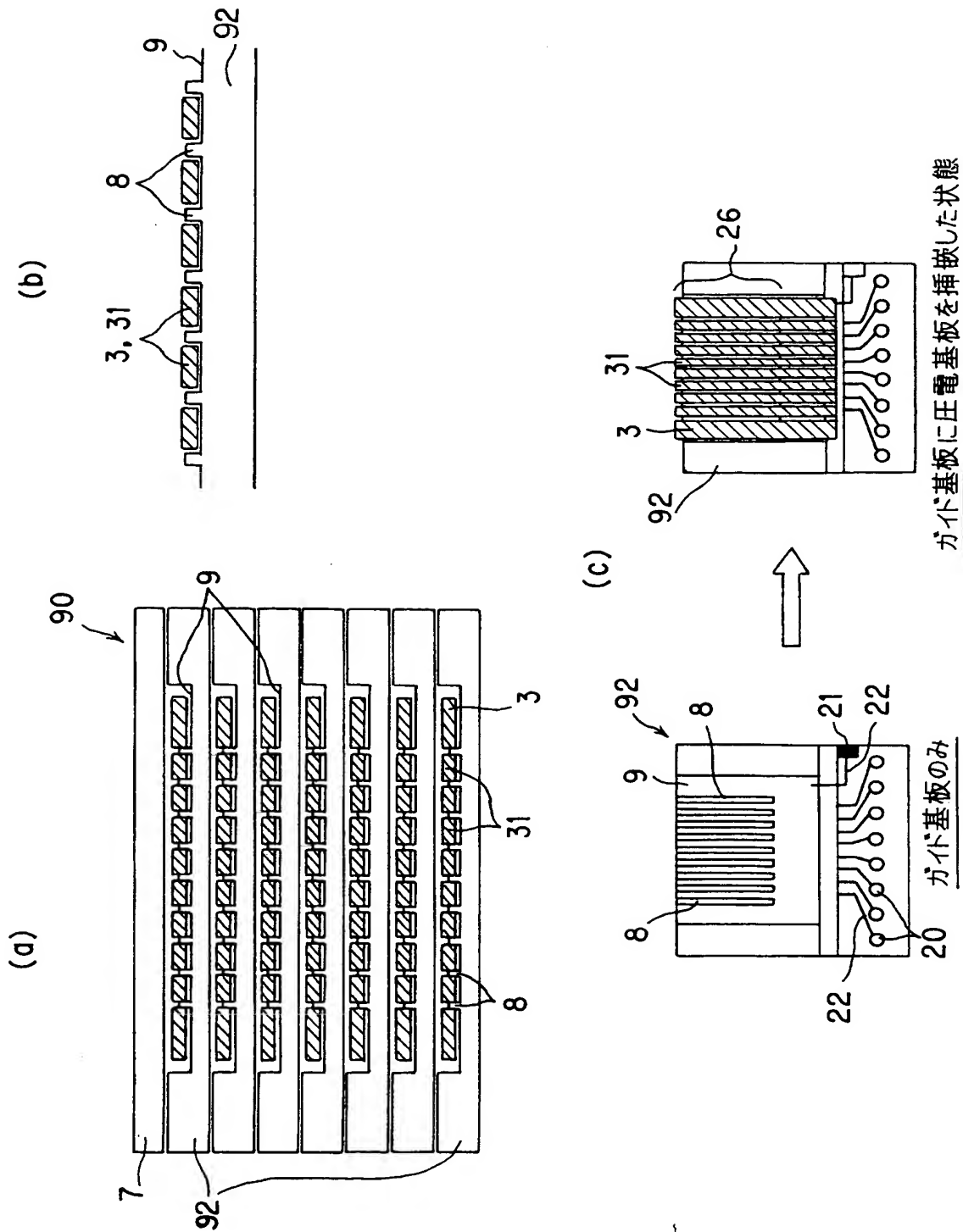
(b)



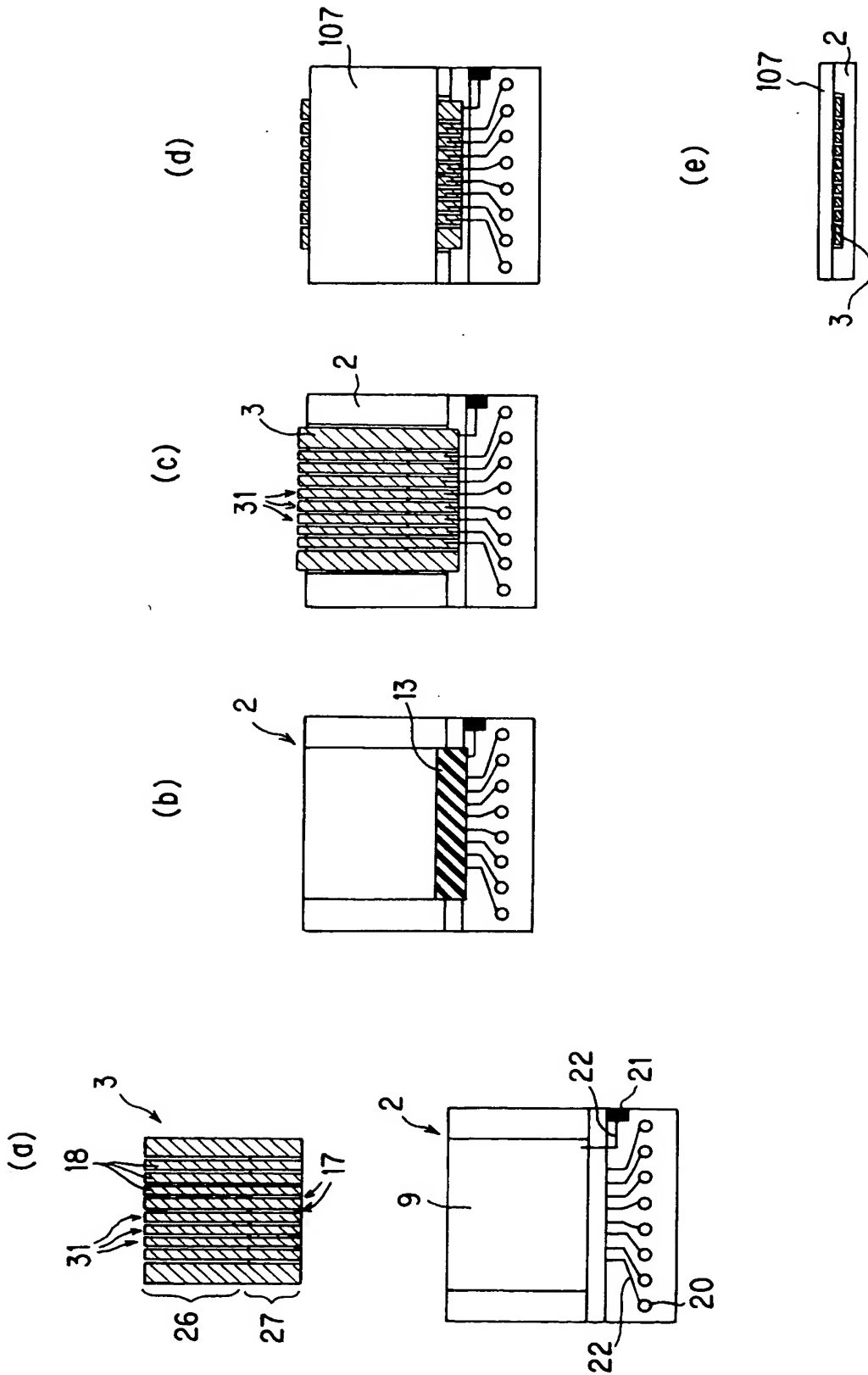
(c)



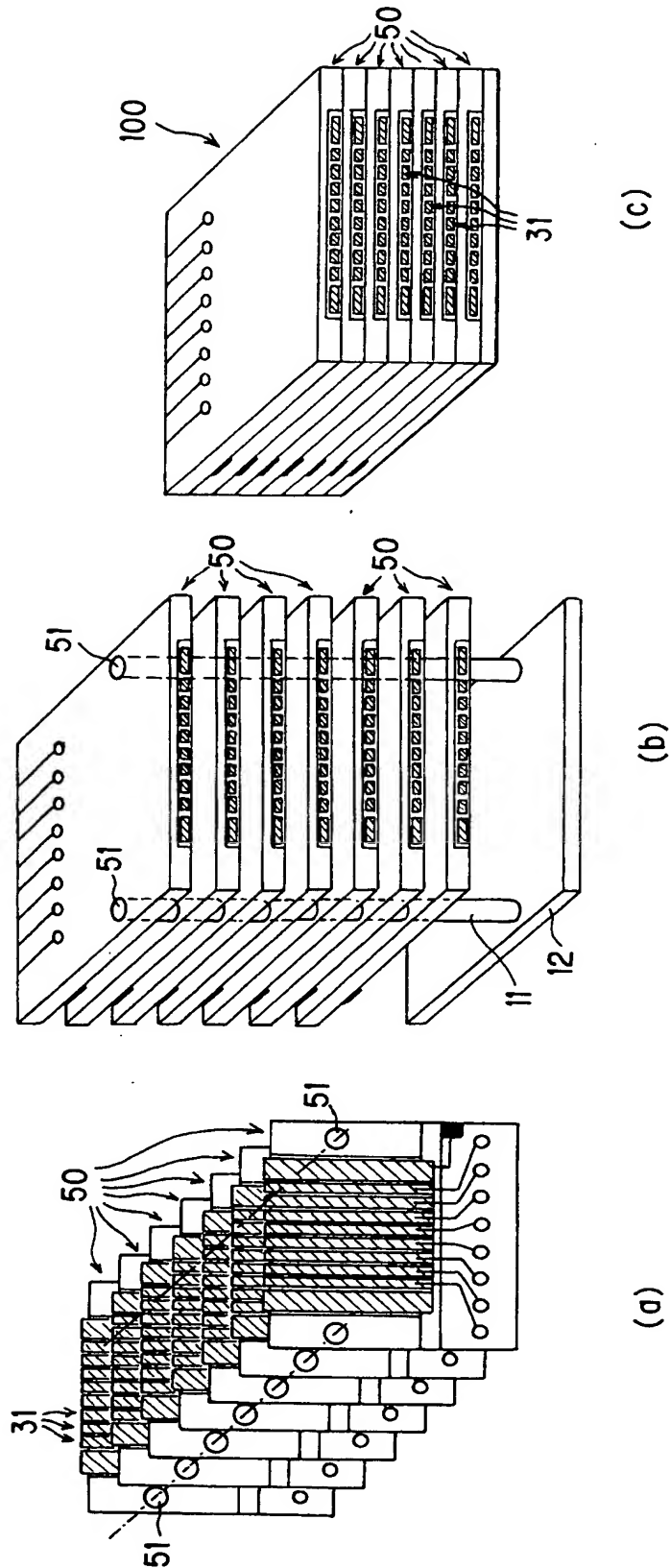
【図 3】



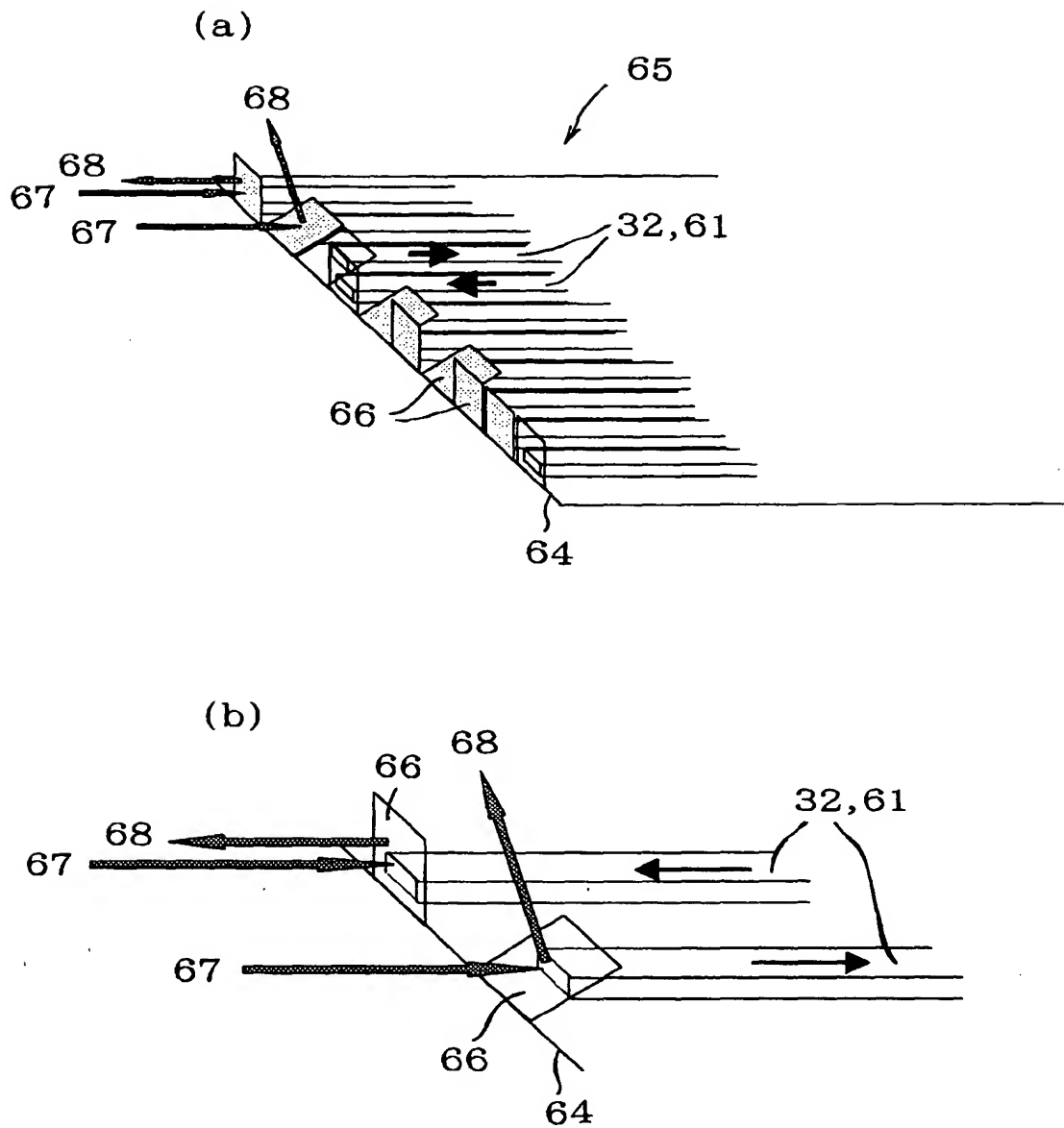
【図 4】



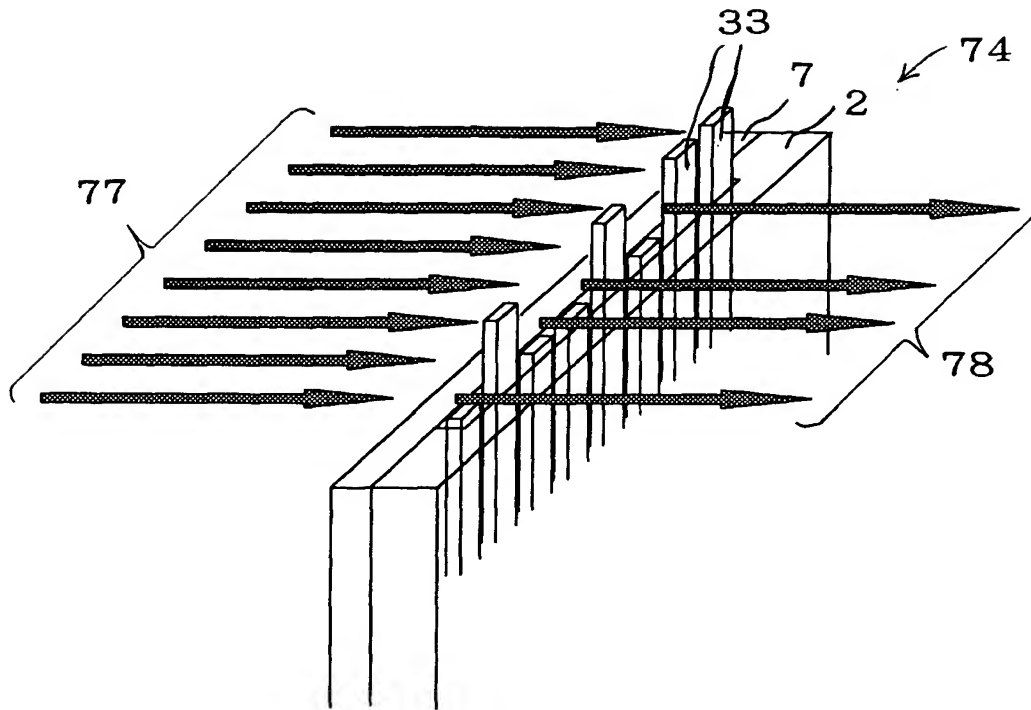
【図 5】



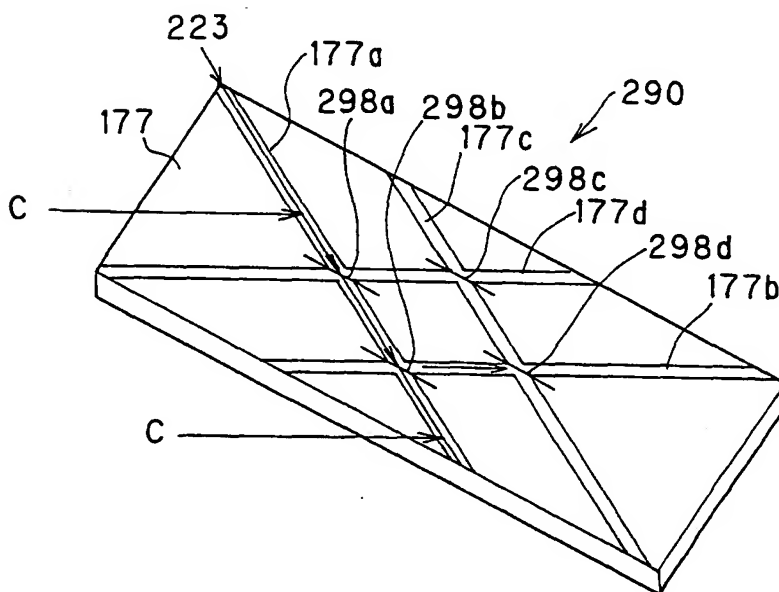
【図 6】



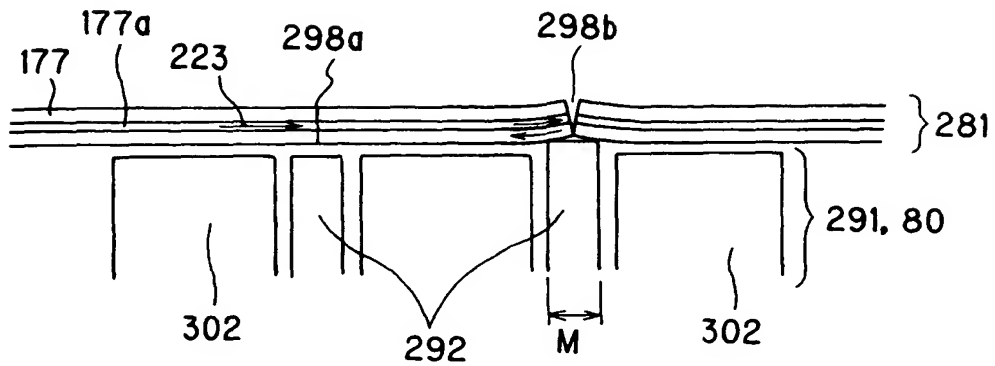
【図 7】



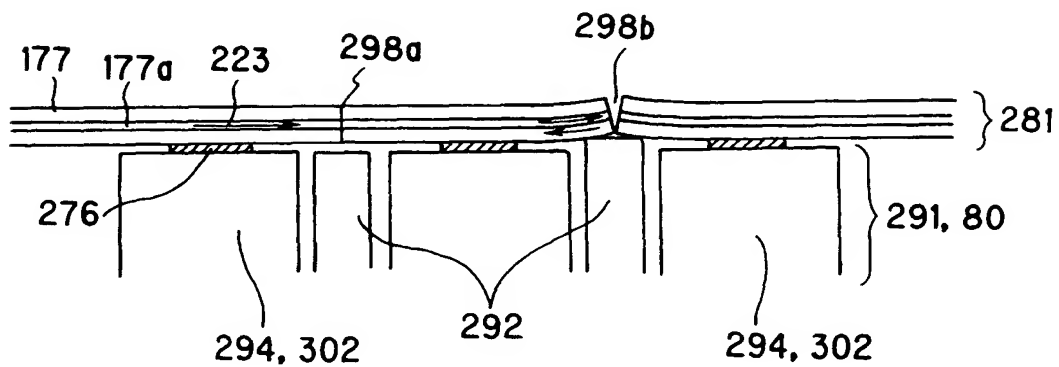
【図 8】



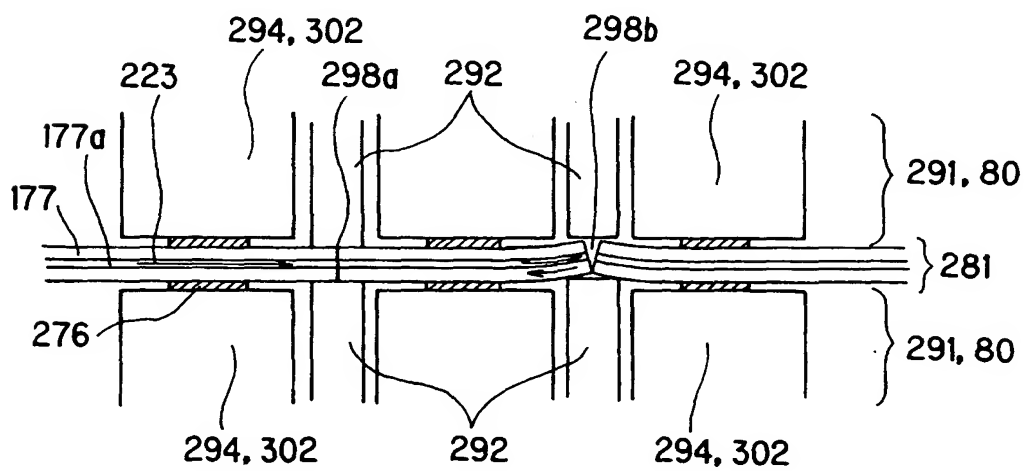
【図 9】



【図 10】

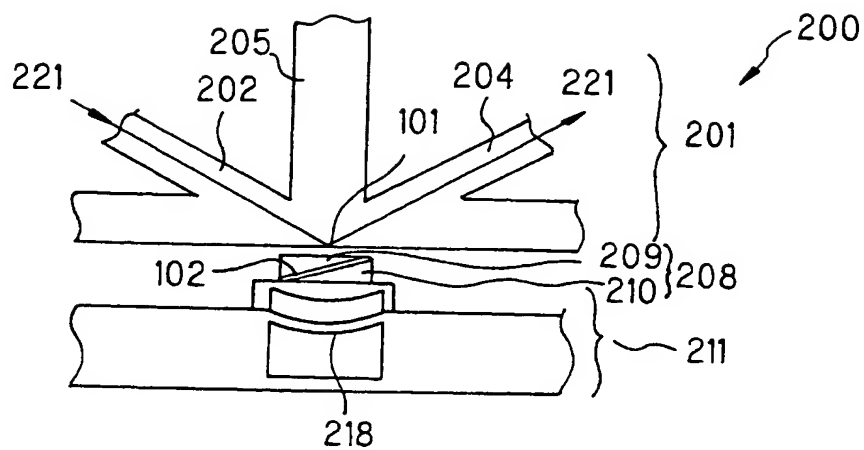


【図 11】

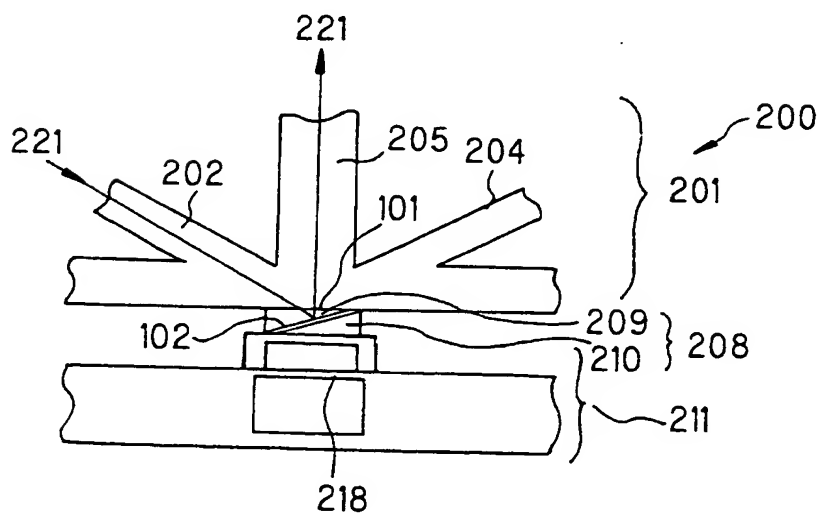


【図 13】

(a)



(b)





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より低電圧で大変位が得られ、且つ、発生力が大きく、加えて、実装性に優れ、より高集積化が可能である圧電アクチュエータと、その製造方法を提供すること。そして、その圧電アクチュエータを、光スイッチ、光シャッター、ミラーアレイ等の光学系マイクロデバイスや、画像表示装置、高周波フィルタ、マイクロポンプ、液滴吐出装置等に適用し、これらの性能向上を図ること。

【解決手段】 解決手段の 1 つは、概ね柱体形状をなす複数の圧電素子 31 が平面状に配列されてなり櫛形を呈する圧電基板 3 と、その圧電基板 3 に沿設され圧電基板 3 の保持乃至位置決めを行うガイド基板 2 と、を備えることを特徴とする一次元櫛形圧電アクチュエータアレイ 1 の提供である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 3 0 1 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 0 6 4]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号

氏 名

日本碍子株式会社